



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

# Évaluation finale du programme NANO 2022

JANVIER 2025

Anne PERROT  
Pierre PRADY  
Albane MIRON DE L'ESPINAY  
Paul BOURGEOIS  
Katia JODOGNE DEL LITTO

Emmanuel CAQUOT  
Stéphane COUVREUR  
Laurent de MERCEY

**IGF**

INSPECTION GÉNÉRALE DES FINANCES



CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ÉCONOMIE  
DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DES TECHNOLOGIES



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Inspection générale des  
finances

N° 2024-M-041-03

Conseil général de l'économie,  
de l'industrie, de l'énergie et  
des technologies

N° 2024/08/CGE/SG

## RAPPORT

# ÉVALUATION FINALE DU PROGRAMME NANO 2022

Établi par

**PIERRE PRADY**

Inspecteur des finances

**EMMANUEL CAQUOT**

Ingénieur général des mines honoraire  
Membre associé du Conseil

**ALBANE MIRON DE L'ESPINAY**

Inspectrice des finances

**STÉPHANE COUVREUR**

Ingénieur en chef des mines

**PAUL BOURGEOIS**

Inspecteur des finances

**LAURENT DE MERCEY**

Ingénieur général des mines

Avec le concours de

**KATIA JODOGNE DEL LITTO**

*Data scientist* au Pôle science des  
données de l'IGF

Sous la supervision de

**ANNE PERROT**

Inspectrice générale des finances

**- JANVIER 2025 -**

**IGF**

INSPECTION GÉNÉRALE DES FINANCES



CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ÉCONOMIE  
DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE ET DES TECHNOLOGIES

## SYNTHÈSE

**Portant sur la période 2018-2022, le programme Nano 2022 vise à soutenir des projets portés par des entreprises de la filière microélectronique.** Déclinaison française du premier projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) microélectronique (ME) et prédécesseur de la stratégie d'accélération électronique de France 2030, ce programme marque la continuité du soutien de l'État à la filière électronique depuis des décennies, tout en représentant une étape de transition entre les programmes précédents et la stratégie actuelle de soutien à la filière.

**Dans le cadre de Nano 2022, le soutien public s'est matérialisé par le financement partiel de projets de recherche et développement (R&D) ou de premières industrialisations (FID) portés par le CEA-Leti et six chefs de file industriels,** à savoir STMicroelectronics, Soitec, Lynred, X-Fab, Murata et UMS. Sélectionnés par la direction générale des entreprises (DGE) et validés au niveau interministériel, ces projets devaient associer d'autres acteurs industriels ou laboratoires de recherche, qui pouvaient également bénéficier de financements de la part de l'État. Appréciée des acteurs économiques du fait de son importante centralisation à la DGE, l'organisation du programme s'est caractérisée par une faible sélectivité des projets *ex ante*, ainsi qu'un suivi technique peu porté sur les performances économiques des projets. La mission estime que cette souplesse est légitime pour les acteurs émergents ou de plus faible taille, mais que ce suivi peut être renforcé dans le cas d'acteurs à la surface financière plus importante, ou bénéficiant de soutiens publics répétés.

**Les nombreuses sources de financements du programme Nano 2022 par l'État illustrent une ingénierie financière particulièrement complexe. Le programme Nano 2022 a été financé par l'État à hauteur de 0,9 Md€ : 0,2 Md€ de prêt et 0,7 Md€ de subventions** pour contribuer au financement de projets d'un montant total initialement prévu de 3,0 Md€. Ces financements de l'État ont été abondés par des financements de collectivités territoriales et de l'Union européenne à hauteur de 3 et 4 % respectivement. Les financements de l'État ont quant à eux représenté 23 % en moyenne du montant total des projets aidés (hors prêt). La mise en place de France 2030 a déjà conduit à simplifier le financement public de la filière, qui pourrait toutefois être renforcé en maintenant l'implication des collectivités territoriales aux seules actions ressortant de leurs compétences.

**Le programme Nano 2022 représente entre 14 et 21 % des sommes investies par les chefs de file dans la R&D.** Depuis 2018, les chefs de file répondant au questionnaire adressé par la mission ont déclaré avoir bénéficié de 810,2 M€ de crédit impôt recherche (CIR), soit 2,2 fois les montants perçus au titre de Nano 2022. Les entreprises partenaires du programme ont une créance de CIR égale à 22,4 fois les montants touchés au titre de Nano 2022.

**En série longue les indicateurs d'activité et de rentabilité montrent une détérioration de la situation économique des chefs de file entre 2010 et 2014, suivie d'une amélioration continue à partir de 2015 qui s'accélère depuis 2021. Il n'est cependant pas possible d'attribuer ces évolutions à l'effet de Nano 2022,** car l'analyse descriptive des chiffres d'affaires, ratios de rentabilité ou masse salariale, ne permet pas d'identifier les autres facteurs qui ont pu impacter la performance des acteurs aidés, comme la conjoncture et les évolutions mondiales du secteur par exemple.

## Rapport

Marqué par la continuation de plans pluriannuels, le soutien à la filière micro-électronique présente des cibles technologiques mais pas d'objectif économique clairement explicité. Cette absence, ainsi que les difficultés à isoler (i) des situations contrefactuelles au sein de la filière (ii) une date de début du soutien financier à la filière, et en particulier STMicroelectronics, **rend plus difficile l'évaluation de l'impact causal du programme Nano sur la décision d'investissement dans la R&D.**

**La mission estime que l'effet du programme Nano 2022 sur les dépenses de R&D n'est pas significatif pour quatre entités, et va en sens contraire pour les deux autres.** Pour évaluer cet impact causal sur la décision d'investissement dans la R&D par les entreprises cheffes de file, la mission a réalisé une étude économétrique à partir d'un contrefactuel synthétique. Cette méthodologie n'a été réalisable que pour six des douze unités légales des chefs de file, mais concerne une part substantielle des financements publics attribués. Il semble cependant avoir eu un impact déterminant sur les plus petites entreprises. **De manière générale, la mission ne peut exclure que les financements octroyés dans le cadre du programme Nano auraient été consentis par les acteurs** pour réaliser ces projets de recherche, mais remarque que le programme peut conduire à structurer l'écosystème comme à faciliter et accélérer leur financement. C'est pourquoi la mission propose de généraliser le mécanisme des avances remboursables dans le cas d'investissements rentables ou de bonnes performances économiques des entreprises soutenues.

**L'objectif technologique du programme Nano 2022 n'était pas de rattraper le retard sur les puces les plus avancées, mais à répondre aux besoins des industries aval domestiques tout en renforçant les principales compétences des industries électroniques françaises.** Dès lors, les choix technologiques opérés par l'État ont été ceux correspondant aux compétences et capacités des industriels présents sur le territoire, mais ne sont pas exempts de risques stratégiques.

**En matière de souveraineté industrielle, l'analyse des savoir-faire pour chaque étape de la chaîne de valeur et pour chaque grande typologie de composants microélectroniques montre qu'aucun pays ou grande zone géographique ne maîtrise l'ensemble de la chaîne de valeur pour un ou plusieurs types de composants.** Cette fragmentation de la chaîne de valeur constitue une source importante de vulnérabilité. Ainsi, des dépendances en amont et en aval de la chaîne sont identifiées pour la France et l'Europe. Dans ce contexte la mission estime qu'un soutien public à des acteurs de la filière doit être envisagé de manière à (i) rationaliser les segments soutenus en fonction de leur accessibilité et de leur croissance anticipée (ii) préserver certaines compétences (iii) s'articuler au niveau européen, afin d'éviter une course aux subventions entre États. **La mission formule ainsi des propositions d'intervention pour de futurs plans européens, et met en avant les outils de politiques publiques les plus adaptés.**

## PROPOSITIONS

**Proposition n° 1** : Dans le cadre d'un soutien de l'innovation dans la filière des semi-conducteurs par des financements publics, assouplir les critères de sélection pour les jeunes entreprises, en allégeant pour ces acteurs les obligations liées à la caractérisation d'un *funding gap* et au respect de jalons techniques.

**Proposition n° 2** : Financer les programmes de soutien à la filière électronique sur fonds État. Maintenir l'implication des collectivités territoriales dans les projets de soutien industriels en privilégiant des actions ressortant de leurs compétences (aménagement, transport, formation notamment) plutôt qu'en subventionnement direct aux acteurs.

**Proposition n° 3** : Généraliser les clauses de récupération (*clawback*) dans les versements de subventions de projets à des entreprises pour des niveaux de maturité technologique (*technology readiness level* - TRL) supérieurs ou égal à 4. Afin de surmonter la difficulté à identifier des revenus associés à un projet en particulier, prévoir des clauses d'intéressement aux résultats financiers globaux des entreprises.

**Proposition n° 4** : Veiller à la continuité de l'action publique en matière d'orientation de la recherche et maintenir les actions de coordination et d'échanges des acteurs, en particulier autour des centres de recherche publics :

**Proposition n° 5** : Privilégier une intervention au niveau européen dans la sélection des projets soutenus, de manière à éviter une course aux subventions entre États membres, en particulier pour les programmes d'industrialisation et de développement capacitaire, qui pourraient être structurés autour d'un mécanisme proche des *joint unions*.

**Proposition n° 6** : Définir une stratégie industrielle en matière de microélectronique qui présente des objectifs explicites, et dont les ressources sont proportionnées (i) aux capacités actuelles des acteurs économiques (ii) au poids et au besoin de la filière au niveau européen.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1. LA GOUVERNANCE ET LE FONCTIONNEMENT DU PROGRAMME NANO 2022 ILLUSTRANT LA TRANSITION ENTRE LES PROGRAMMES PRÉCÉDENTS ET UN SOUTIEN À LA FILIÈRE DES SEMI-CONDUCTEURS MIEUX PRIS EN COMPTE AUX NIVEAUX NATIONAL ET EUROPÉEN .....</b>	<b>3</b>
1.1. Représentant un soutien financier total de 1,0 Md€, le programme Nano 2022 témoigne d'un soutien croissant des pouvoirs publics à la filière microélectronique en matière de recherche industrielle.....	3
1.1.1. <i>Le programme Nano 2022 élargit le nombre des bénéficiaires et des technologies soutenues par rapport aux précédents programmes, et cible au-delà de la seule recherche et développement .....</i>	<i>3</i>
1.1.2. <i>Le programme Nano 2022 s'inscrit dans le premier projet important d'intérêt européen commun (PIIEC), ce qui permet de déroger aux règles applicables aux aides d'État.....</i>	<i>4</i>
1.2. La gouvernance complexe de Nano 2022 a fait l'objet de simplifications pour le programme France 2030 qui lui succède, mais le soutien français à l'industrie des semi-conducteurs manque toujours de lisibilité .....	8
1.2.1. <i>Marqué par la continuation de plans pluriannuels, le soutien à la filière micro-électronique présente des cibles technologiques mais pas d'objectif économique clairement explicité.....</i>	<i>8</i>
1.2.2. <i>Les sources de financement du programme Nano 2022 sont peu articulées .....</i>	<i>10</i>
<b>2. LE SOUTIEN PUBLIC CONFÉRÉ PAR NANO 2022 A ACCOMPAGNÉ UNE AMÉLIORATION DE LA SITUATION ÉCONOMIQUE DES BÉNÉFICIAIRES, SANS QUE L'EFFET DE LEVIER SUR LES ACTIONS DE R&amp;D PUISSE ÊTRE DÉTERMINÉ DE MANIÈRE CAUSALE .....</b>	<b>12</b>
2.1. Confrontées aux difficultés de construire une situation contrefactuelle, les évaluations des précédents programmes ne permettent pas de dresser un tableau fidèle de l'impact économique des financements publics.....	12
2.2. Sans pouvoir attribuer leur évolution au soutien public accordé, les données administratives montrent une hausse continue des indicateurs de performance économique des chefs de file industriels depuis 2015 .....	13
2.2.1. <i>La part du chiffre d'affaires et de la masse salariale des chefs de file du programme Nano 2022 dans l'industrie manufacturière française a augmenté entre 2017 et 2021 .....</i>	<i>13</i>
2.2.2. <i>En série longue les indicateurs d'activité et de rentabilité montrent une détérioration de la situation économique des chefs de file entre 2010 et 2014, suivie d'une amélioration continue à partir de 2015 qui s'accélère depuis 2021 .....</i>	<i>15</i>

2.3. L'analyse causale menée par la mission montre que la décision d'investissement en R&D par les entreprises ne peut être attribuée à l'existence du soutien public prévu par Nano 2022.....	16
<b>3. DES VULNÉRABILITÉS SONT IDENTIFIÉES SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DES SEMI-CONDUCTEURS MAIS UNE COORDINATION EUROPÉENNE RESSERRÉE PERMETTRAIT DE RENFORCER LE NIVEAU DE SOUVERAINETÉ SUR CERTAINS SEGMENTS.....</b>	<b>20</b>
3.1. Les projets soutenus financièrement <i>via</i> le programme Nano 2022 ont facilité le développement de technologies répondant à une stratégie industrielle spécifique.....	20
3.1.1. <i>Les projets financés par Nano 2022 n'avaient pas pour objet de rattraper le retard technologique sur les puces les plus avancées, mais de développer certains domaines de spécialité correspondant aux besoins d'industries aval.....</i>	20
3.1.2. <i>Le soutien public français et européen à la filière des semi-conducteurs a favorisé le dynamisme de l'écosystème industriel et de la recherche publique.....</i>	23
3.2. La vulnérabilité de la France et de l'Europe en matière de semi-conducteurs, liée à la fragmentation de la chaîne de valeur, a été mise au jour par la crise du Covid.....	24
3.3. Dans un contexte d'interdépendance des acteurs au niveau mondial, deux stratégies de maîtrise des risques coexistent, les politiques publiques à déployer dépendent du niveau de développement sectoriel.....	26
3.3.1. <i>Les grands pays industrialisés disposent tous de moyens publics importants pour soutenir leur industrie domestique de semi-conducteurs .....</i>	26
3.3.2. <i>Le soutien public engagé dans le cadre du Chips Act européen constitue une amorce de politique de rattrapage, la coordination au niveau européen doit être renforcée afin d'harmoniser politiques de recherche, politiques industrielles et politiques commerciales.....</i>	28

## INTRODUCTION

Par lettre en date du 14 juin 2024, le ministre délégué chargé de l'industrie et de l'énergie a confié à l'inspection générale des finances (IGF) et au conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGE) une mission d'évaluation finale du programme Nano 2022.

Ce programme constitue le quatrième plan pluriannuel de soutien à la recherche industrielle sur les semi-conducteurs, une filière dans laquelle l'intervention publique est ancienne et régulière en France. La lettre de mission invitait à travailler sur deux volets distincts :

- ◆ **le premier volet portait sur la réussite économique du programme, envisagée de manière descriptive.** La trajectoire économique des bénéficiaires du programme, leur rentabilité ainsi que le secteur en général font l'objet de développements dans le présent rapport. Ceux-ci reposent sur l'analyse des données administratives disponibles, ainsi que sur un questionnaire adressé aux bénéficiaires reprenant la structure. En outre, la gouvernance du programme, les modalités de sélection des projets subventionnés, les choix budgétaires opérés et les principaux résultats scientifiques et industriels obtenus sont décrits et analysés dans nos travaux ;
- ◆ **le deuxième volet impliquait une analyse causale robuste** de l'effet du programme. La mission était invitée à préciser les modalités et un calendrier de réalisation d'une telle analyse. Comme expliqué dans le rapport, la comparaison des chefs de file à une situation contrefactuelle est particulièrement difficile pour ce qui est du programme Nano 2022. Dans ce cadre, la mission a pris le parti de mener des travaux économétriques innovants<sup>1</sup> permettant de surmonter l'absence formelle de situations contrefactuelles. Ces travaux peuvent être améliorés par la suite (profondeur temporelle des données, constitution différente de situations contrefactuelles synthétiques, etc.), mais à ce stade, la mission estime que l'externalisation de nouveaux travaux ne présenterait qu'un intérêt mineur par rapport aux constats présentés *infra*.

En termes d'évaluation, le programme Nano 2022 présente une situation atypique. D'une part, les projets qu'ils financent commencent seulement à produire des effets, dont l'analyse nécessite un recul temporel suffisant. D'autre part, les programmes de soutien remplaçant Nano 2022 ont déjà démarré, avec des modifications organisationnelles substantielles. La présentation du programme, de sa gouvernance et de son financement figurent en partie 1.

De manière générale, l'évaluation d'une politique publique nécessite au préalable d'avoir défini clairement ses objectifs. Or, le programme Nano 2022 plan visait une multiplicité d'objectifs, que le présent rapport s'attelle à analyser : objectifs en termes de recherche et de compétitivité économique (partie 2) et de souveraineté (partie 3). Dans ces conditions, le présent rapport formule des propositions tenant compte à la fois du programme Nano 2022, mais également, autant que faire se peut, des évolutions importantes ayant affecté le secteur de la microélectronique depuis la mise en place de ce plan.

La mission a procédé à des entretiens au niveau national avec les directions d'administration centrale et opérateurs concernés, avec les chefs de file industriels du programme, à l'exception d'un seul. Elle a réalisé un déplacement dans la région Grenobloise. Pour réaliser des comparaisons internationales, elle a mobilisé de la documentation des services déconcentrés du ministère de l'économie et des finances, ainsi que des partenaires européens et allemands.

---

<sup>1</sup> Basés sur la méthode de « contrôle synthétique », qui n'a jamais été utilisée dans les précédents rapports d'évaluation de programmes Nano.

## Rapport

### **Le rapport est accompagné de huit annexes :**

- ◆ l'annexe I présente le fonctionnement du programme Nano 2022, ainsi que son articulation avec les initiatives européennes en matières de microélectronique ;
- ◆ l'annexe II dresse l'historique des programmes Nano précédents, ainsi que des évaluations qui en ont été faites ;
- ◆ l'annexe III comporte le panorama sectoriel des semi-conducteurs ;
- ◆ l'annexe IV rassemble des analyses descriptive et causale de l'activité des bénéficiaires du programme Nano 2022, ainsi que les résultats techniques du programme.
- ◆ l'annexe V analyse les questions d'indépendance et de souveraineté technologique dans le domaine de l'électronique ;
- ◆ l'annexe VI recense les moyens publics consacrés dans les différents pays du monde au soutien à la filière microélectronique ;
- ◆ l'annexe VII présente la méthodologie de l'analyse causale discutée en annexe IV ;
- ◆ l'annexe VIII liste les personnes rencontrées par la mission.

## 1. La gouvernance et le fonctionnement du programme Nano 2022 illustrent la transition entre les programmes précédents et un soutien à la filière des semi-conducteurs mieux pris en compte aux niveaux national et européen

### 1.1. Représentant un soutien financier total de 1,0 Md€, le programme Nano 2022 témoigne d'un soutien croissant des pouvoirs publics à la filière microélectronique en matière de recherche industrielle

#### 1.1.1. Le programme Nano 2022 élargit le nombre des bénéficiaires et des technologies soutenues par rapport aux précédents programmes, et cible au-delà de la seule recherche et développement

Les programmes Nano constituent des programmes d'aide publique à destination du secteur de la filière microélectronique en matière de recherche et développement (R&D). En France, l'intervention publique dans cette industrie est ancienne et régulière et la création du laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA-Leti) en 1967. À cet égard, le programme Nano 2022 constitue le quatrième plan pluriannuel<sup>2</sup> de soutien à la recherche industrielle sur les semi-conducteurs.

Le programme Nano 2022, portant sur la période 2018-2022 marque la continuité du soutien de l'État à la filière électronique mais constitue une étape de transition entre les programmes précédents et la stratégie actuelle de soutien à la filière. En effet :

- ◆ Nano 2022 élargit l'ambition du soutien public à la filière par rapport aux programmes précédents :
  - le nombre de chefs de file industriels, porteurs des projets subventionnés, est passé de deux en moyenne pour les précédents plans, à six (cf. figure 1) et le soutien financier total de l'État a été fortement augmenté : de 454,6 M€ pour Nano 2012 à 877,9 M€ pour Nano 2022. En conséquence, les projets financés dans ce cadre sont davantage répartis sur le territoire national que pour les précédents programmes Nano, concentrés sur les sites de Grenoble et Crolles ;
  - il constitue le premier plan de soutien s'inscrivant dans un cadre européen, à travers le premier projet important d'intérêt commun (PIIEC) microélectronique (cf. 1.1.2). À ce titre, Nano 2022 permet le soutien de projets de R&D, mais aussi de premières industrialisations (FID, *first industrial deployment*) ;
- ◆ la stratégie actuelle de soutien à la micro-électronique s'inscrit désormais dans une gouvernance repensée, insérée à France 2030 (cf. 1.2) et un cadre européen plus ambitieux : second PIIEC<sup>3</sup>, *European Chips Act* (cf. 1.1.2) ;
- ◆ d'un point de vue technique, Nano 2022, comme Nano 2017, rompt avec la course à la miniaturisation en concentrant les efforts sur l'élargissement des fonctionnalités des puces grâce à des matériaux et design innovants (cf. 3.1.1) **Le programme Nano 2022 identifie la mobilité (véhicules autonomes et électriques) et les communications comme principaux domaines d'usage des technologies soutenues.**

---

<sup>2</sup> Il s'agit des plans Nano 2008, 2012 et 2017, le premier ayant été initié en 2002 (cf. annexe I).

<sup>3</sup> Micro-électronique, technologies de communication, adopté en 2023.

## Rapport

**Dans le cadre de Nano 2022, le soutien public s'est matérialisé par le financement partiel de projets de R&D ou de FID portés par le CEA-Leti et six chefs de file industriels**, à savoir STMicroelectronics, Soitec, Lynred, X-Fab, Murata et UMS. Sélectionnés par la direction générale des entreprises (DGE), validés au niveau interministériel, les projets portés par les chefs de file devaient associer d'autres acteurs industriels ou laboratoires de recherche, qui pouvaient également bénéficier de financements de la part de l'État.

**Le programme Nano 2022 a été financé par l'État à hauteur de 0,9 Md€ : 0,2 Md€ de prêt et 0,7 Md€ de subventions** pour contribuer au financement de projets d'un montant total initialement prévu de 3,0 Md€ (cf. tableau 1). Ces financements de l'État ont été abondés par des financements de collectivités territoriales pour 74,5 M€ et par des financements européens pour 112,5 M€ (cf. annexe I). **Pour l'ensemble du programme Nano 2022, les financements de l'État représentent en moyenne 23 % du montant total des projets aidés (hors prêt). Les collectivités territoriales et la commission européenne financent chacune de 3 à 4 % du montant total du programme.** Toute aide publique confondue, le CEA-Leti et UMS ont le taux de financement public le plus élevé, de respectivement 43 % et 36 %. STMicroelectronics et Murata ont le plus faible taux d'aide, à 21 et 22 %.

### 1.1.2. Le programme Nano 2022 s'inscrit dans le premier projet important d'intérêt européen commun (PIIEC), ce qui permet de déroger aux règles applicables aux aides d'État

Les projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) sont des instruments de soutien à l'innovation qui permettent aux États membres de l'Union européenne de financer des projets au-delà des règles habituellement permises par la réglementation européenne, pour certains secteurs spécifiques (cf. annexe I). L'objectif est de renforcer la politique industrielle de l'Union européenne en regroupant les compétences, les savoir-faire et les ressources financières des acteurs européens tout en préservant la concurrence au sein du marché unique. Un PIIEC doit associer plusieurs États membres mais n'est pas assorti de financements de la Commission européenne : chaque pays détermine le montant d'aides d'État qu'il souhaite dédier au PIIEC sur son budget national. **Le programme Nano 2022 décline en France le PIIEC microélectronique (ME) qui a été validé le 18 décembre 2018 par la Commission européenne**<sup>4</sup>. Ce PIIEC est articulé autour de cinq thèmes techniques différents qui concernent l'ensemble de la chaîne de valeur (cf. annexe III) dont quatre ont fait l'objet d'au moins un projet soutenu dans le cadre de Nano 2022 (cf. tableau 2 et graphique 1) :

- ◆ les puces écoénergétiques (*energy efficient chips*) exploitant la technologie FD-SOI, à destination de l'automobile, de l'internet des objets et de l'aéronautique ;
- ◆ les semi-conducteurs de puissance (*power semiconductors*), notamment pour les moteurs électriques ;
- ◆ les capteurs intelligents (*sensors*) pour l'automobile et l'internet des objets ;
- ◆ les équipements optiques avancés (*advanced optical equipment*) pour la lithographie qui offrent des perspectives de miniaturisation et qui sont utilisés pour le stockage et le traitement de données. C'est le seul thème sans projet soutenu dans Nano 2022 ;
- ◆ les matériaux composites (*compound materials*), en remplacement du silicium brut largement utilisé.

---

<sup>4</sup> Les PIIEC se traduisent, pour certains secteurs jugés stratégiques, par des projets portés par des entreprises sélectionnées par les États membres. Afin de restreindre les risques de distorsion de la concurrence liés aux financements publics accordés aux projets, ceux-ci ne sont autorisés par la Commission européenne que si l'entreprise démontre l'existence de failles de marché, l'impossibilité économique de mener le projet à bien en l'absence d'aide et, sur le plan de la concurrence, l'existence d'effets positifs supérieurs aux effets négatifs.

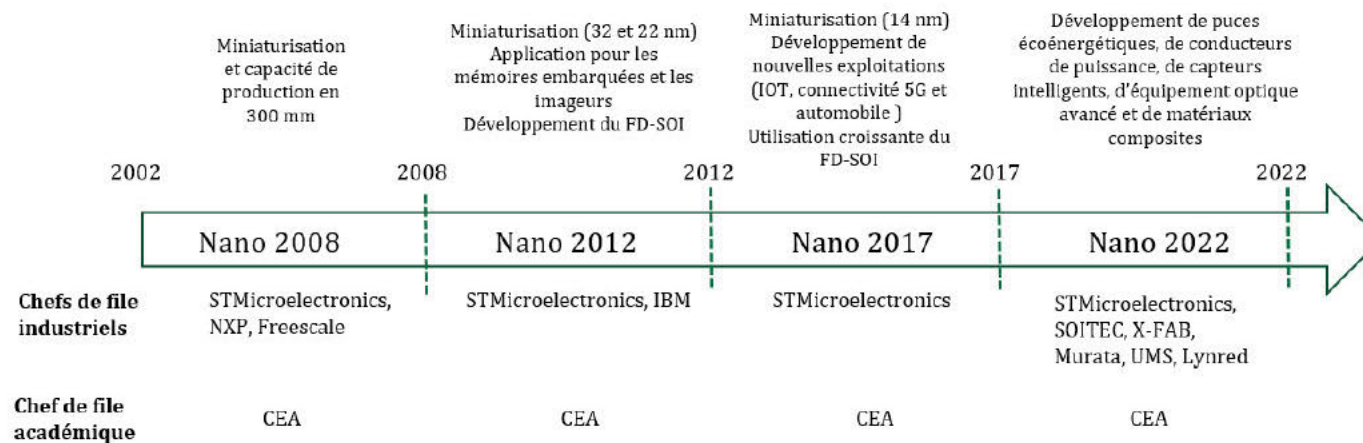
## Rapport

**Tableau 1 : Subventions publiques des projets du programme Nano 2022 par bénéficiaire**

Partenaire	Montant de l'assiette aidée (en M€)	Montant financé par l'État (en M€)	Montant des financements européens (en M€)	Montant du financement des collectivités (en M€)	Taux d'aide de l'État	Taux d'aide de la commission européenne	Taux d'aide des collectivités territoriales	Taux d'aide publique totale
STMicroelectronics	1 562,1	300,1	34,4	-	19 %	2 %	0 %	21 %
CEA-Leti	783,0	234,0	48,4	62,1	30 %	6 %	8 %	44 %
Soitec	224,2	39,8	8,1	10,1	18 %	4 %	5 %	27 %
Autres industriels et laboratoires	157,0	42,5	16,5	Non déterminé	27 %	11 %	Non applicable (N.A.)	N.A.
Lynred	90,0	26,4	3,8	0,8	29 %	4 %	1 %	34 %
X-Fab	74,0	18,5	-	-	25 %	0 %	0 %	25 %
Murata	51,3	9,5	-	1,5	19 %	0 %	3 %	22 %
UMS	23,2	7,1	1,2	-	31 %	5 %	0 %	36 %
<b>Total</b>	<b>2 964,9</b>	<b>677,9</b>	<b>112,5</b>	<b>74,5</b>	<b>23 %</b>	<b>4 %</b>	<b>3 %</b>	<b>30 %</b>

*Source : Mission à partir des données de la DGE.*

**Figure 1 : Objectifs et partenaires des programmes Nano 2008 à 2022**



*Source : Mission à partir de l'évaluation finale du programme Nano 2017 et des avenants à la convention du 29 décembre 2017 entre l'Etat et la Caisse des dépôts et consignations.*

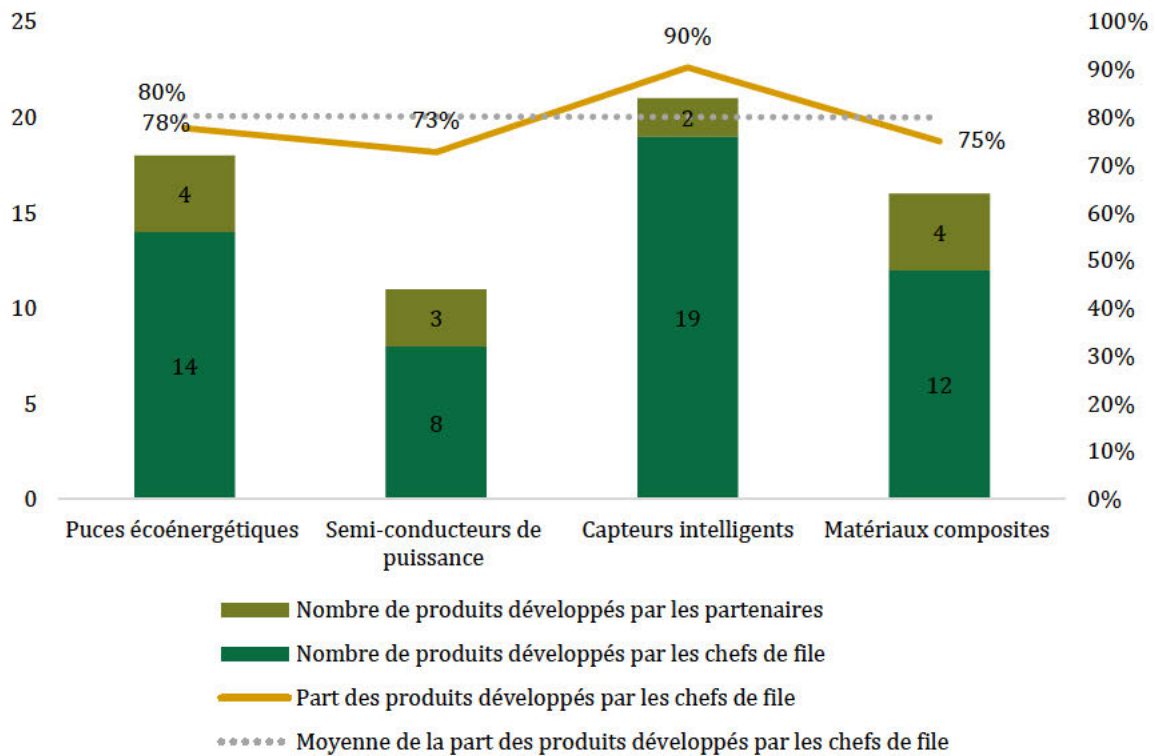
## Rapport

**Tableau 2 : Participation des chefs de file industriels dans les thèmes techniques du programme Nano 2022**

Thème technique	STMicroelectronics	Soitec	LYNRED	Murata	X-Fab	UMS
Puces écoénergétiques	Avec le CEA-Leti	Avec le CEA-Leti	-	-	Seul	-
Semi-conducteurs de puissance	Avec le CEA-Leti	-	-	Avec le CEA-Leti	-	-
Capteurs intelligents	Avec le CEA-Leti	-	Avec le CEA-Leti	-	Seul	-
Equipements optiques avancés	-	-	-	-	-	-
Matériaux composites	Avec le CEA-Leti	Avec le CEA-Leti	Avec le CEA-Leti	-	-	Avec le CEA-Leti puis Fraunhofer

*Source : Mission d'après le chapeau du PIIEC ME et la convention cadre du 29 décembre 2020 entre l'État et le CEA-Leti.*

**Graphique 1 : Nombre de produits développés par champ technologique du PIIEC ME**



*Source : Mission d'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires du programme Nano 2022.*

**Dans le cadre européen de soutien public posé par le PIIEC ME et les entreprises communes ECSEL<sup>5</sup> puis KDT<sup>6</sup>, la période couverte par Nano 2022 se caractérise par un dynamisme des projets français, commensurable à son poids dans la filière au sein de l'UE.**

Le PIIEC ME réunissait initialement quatre pays : l'Allemagne, la France, l'Italie et le Royaume-Uni. Le montant total des projets portés par les industriels s'élève à 7,9 milliards d'euros, dont 5,3 Md€ pour le premier déploiement industriel et 2,6 Md€ pour la R&D. Les pays engagés prévoyaient de financer ce programme jusqu'à [REDACTED], la France ayant proposé des financements publics moindres ([REDACTED]) que l'Allemagne ([REDACTED]) ou l'Italie ([REDACTED]).

Le PIIEC microélectronique n'inclut pas de crédits communautaires. Cependant, la Commission européenne finance jusqu'à 50 % du montant des projets retenus dans le cadre de l'appel à projets annuel des entreprises communes ECSEL puis KDT. Certains projets du programme Nano 2022, non-inscrits dans le PIIEC, ont été soutenus à l'échelle européenne par ces entreprises communes : entre 2017 et 2021, les entreprises communes ECSEL puis KDT ont sélectionné 68 projets représentant un investissement total de 2,1 Md€, toutes sources de financement confondues. 16 projets (représentant 21 % du montant total) parmi les projets sélectionnés par les entreprises communes sont rattachés au programme Nano 2022 : la France est le troisième pays le plus représenté parmi les coordonnateurs derrière l'Allemagne et les Pays-Bas.

**Validé en juin 2023, le second PIIEC sur les semi-conducteurs confirme ce positionnement technologique et l'investissement français, bien que la part des projets portés par des partenaires français recule par rapport aux entreprises allemandes.**

Ce second PIIEC, dit PIIEC ME-CT, élargit le champ à la connectivité. Il permet de financer des projets de R&D et de FID et réunit quatorze pays : l'Allemagne, l'Autriche, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Italie, Malte, les Pays-Bas, la Pologne, la République Tchèque, la Roumanie et la Slovaquie.

Le PIIEC ME-CT n'est pas décliné selon des champs technologiques d'intérêt comme le PIIEC ME, mais a une orientation plus large qui inclut l'ensemble de la chaîne de valeur, des matériaux à l'intégration des systèmes selon quatre fonctions des puces.

**Les projets proposés représentent un montant total de 18,5 Md€, dont un financement maximal des États membres de 8,1 Md€.** Les trois principaux pays du PIIEC ME de 2018 en termes de montant sont à nouveau les acteurs principaux du PIIEC ME-CT. Les projets portés par des partenaires allemands représentent la moitié de l'assiette des projets du PIIEC (soit 9,3 Md€) et 55 % de l'aide publique accordée (soit 4,5 Md€). La France est le deuxième pays en termes de montant d'assiette des projets (3,5 Md€) et la part de financement public (1,0 Md€). L'Italie porte des projets pour 2,3 Md€, dont 1,0 Md€ de financement public.

---

<sup>5</sup> L'initiative technologique conjointe (entreprise commune) ECSEL s'inscrit dans le cadre du programme européen Horizon 2020 et dans la stratégie européenne de soutien aux technologies clés. L'entreprise commune ECSEL concerne les technologies de base du numérique : composants nano/microélectronique, logiciels et systèmes. Elle a pris fin en 2020.

<sup>6</sup> L'entreprise commune pour les technologies numériques clés (KDT JU) est le partenariat public-privé pour la recherche, le développement et l'innovation sur les technologies numériques clés du programme Horizon Europe porté par la commission européenne. Cette entreprise commune a pris la suite de l'entreprise commune ECSEL.

## 1.2. La gouvernance complexe de Nano 2022 a fait l'objet de simplifications pour le programme France 2030 qui lui succède, mais le soutien français à l'industrie des semi-conducteurs manque toujours de lisibilité

### 1.2.1. Marqué par la continuation de plans pluriannuels, le soutien à la filière micro-électronique présente des cibles technologiques mais pas d'objectif économique clairement explicité

Conformément à la réglementation européenne sur les aides d'État, les programmes Nano 2008, 2012 et 2017 étaient des programmes de soutien à des activités de R&D menées par des industriels en collaboration avec des laboratoires académiques. Ils ne finançaient pas l'industrialisation. La comparaison des différents plans Nano (cf. tableau 3) permet de mettre en avant plusieurs éléments :

- ◆ le taux de financement des projets par l'État est de 33 % en moyenne pour les trois derniers plans, et assez constant (30 % pour les deux derniers), alors que le soutien financier est croissant (+93 % entre Nano 2012 et Nano 2022<sup>7</sup>) ;
- ◆ seul Nano 2022 a impliqué plus de trois chefs de file industriels (cf. 1.1.1), illustrant une volonté de soutenir l'ensemble de la filière au-delà de la seule entreprise STMicroelectronics, permettant ainsi de diversifier les projets financés, ou les partenariats envisagés avec d'autres industriels ou laboratoires de recherche ;
- ◆ le soutien financier à la filière est relativement modeste en comparaison d'autres politiques non ciblées de soutien à l'innovation : Nano 2022 représente 2,6 % de la créance totale du crédit d'impôt recherche cumulée sur la même période (2018-2022). En revanche, **pour les chefs de file, les subventions de l'État versées dans le cadre de Nano 2022 ne sont pas négligeables : elles ont représenté 1,9 % du chiffre d'affaires (CA) cumulé des six entreprises entre 2018 et 2022 et 23,7 % de leur excédent brut d'exploitation (EBE) sur la période** (cf. annexe IV).

---

<sup>7</sup> +49 % sans tenir compte du prêt de 200 M€ accordé à Soitec.

## Rapport

**Tableau 3 : Nombre de bénéficiaires et financement des programmes Nano**

<i>Programme</i>	<i>Nano 2008</i>	<i>Nano 2012</i>	<i>Nano 2017</i>	<i>Nano 2022</i>
<i>Nombre de chefs de file industriels</i>	3	2	1	6
<i>Nombre de partenaires (entreprises et laboratoires)</i>	Non disponible (N.D.)	N.D.	81	67
<i>Montant total des projets aidés (en M€)</i>	1 882	1 168	2 000	2 964,9
<i>dont financement de l'État (en M€)</i>	N.D.	454,6	600 <sup>8</sup>	877,9 <sup>9</sup>
<i>dont financement des collectivités territoriales (en M€)</i>	N.D.	74,9	93	74,5

*Source* : Fiche QP « historique du programme Nano », DGE juillet 2024 ; évaluation finale du programme Nano 2017 ; données de suivi financier du programme Nano 2022 de la DGE.

**Évaluer un programme de soutien public tel que Nano 2022 nécessite de recourir à des méthodologies plus robustes que la collation d'indicateurs de performance économique concernant les entreprises aidées ou les collectivités territoriales dans lesquelles elles se situent.** Ces indicateurs ne permettent pas de (i) dissocier ce qui résulte du plan de soutien lui-même ou de la conjoncture, en particulier pour un secteur d'activité aux cycles économiques particulièrement marqués (cf. annexe III), ni (ii) d'objectiver que le plan de soutien a permis de financer des projets qui n'auraient pas été portés sinon, et que le plan de soutien ne constitue donc pas un effet d'aubaine.

**L'absence d'objectif économique précis assigné au programme rend moins lisible la politique industrielle menée<sup>10</sup>.** En l'occurrence, alors que le programme finance des projets de R&D, plusieurs objectifs différents ont été mis en avant auprès de la mission : pérennité de sites industriels, compétitivité des entreprises françaises sur des segments à forte valeur ajoutée, préservation de la sécurité des approvisionnements et de la souveraineté économique pour la filière micro-électronique et certains marchés aval (automobile et défense notamment), développement du cluster grenoblois en matière électronique, etc.

De même, les objectifs de Nano 2022 énoncés dans le rapport d'évaluation intermédiaire étaient de « *développer la recherche et la première industrialisation de composants électroniques innovants avec pour finalité :*

- ◆ *le renforcement de la compétitivité de l'industrie nanoélectronique en termes d'innovation ;*
- ◆ *le développement de l'appareil productif ;*
- ◆ *la réponse aux besoins des filières applicatives, notamment pour les secteurs de l'automobile, des objets connectés, de l'aérospatial et de la défense, et favoriser l'intégration des produits développés dans le processus d'innovation de ces secteurs situés en aval. »*

<sup>8</sup> Dont 37,15 M€ font l'objet d'une avance récupérable.

<sup>9</sup> Dont 200 M€ sous la forme d'un prêt accordé à l'entreprise Soitec.

<sup>10</sup> « Une des raisons du faible levier de cette politique relativement à l'intense activisme politique qui l'entoure est sans doute à trouver dans la faiblesse des montants engagés en raison de la diversité des objectifs poursuivis » (Guillou Sarah, « La politique industrielle française : démons, dieux et défis, Sciences Po OFCE Working Paper, n° 11/2024 »)

## Rapport

En particulier, la volonté de préserver un tissu industriel et des sites existants peut conduire à privilégier le financement de structures déjà établies, à rebours d'une politique ambitieuse de financement de l'innovation déléguant la prise de décision uniquement sur des critères scientifiques<sup>11</sup>, et allégeant les contraintes pour les jeunes et petites entreprises qui souhaiteraient y postuler (cf. annexe I concernant les modalités d'acceptation des projets).

À cet égard, la Commission européenne a émis une nouvelle communication au sujet des critères de sélection des PIIEC, datant du 30 décembre 2021 visant à associer davantage les PME et les « jeunes pousses » que dans le premier PIIEC, décliné dans le programme Nano. À l'origine, la stratégie d'accélération (SA)<sup>12</sup> électronique devait comporter un guichet supplémentaire à destination des petites entreprises qui a été supprimé en début d'année 2024 suite à la réduction des crédits de France 2030. Dans Nano 2022 comme dans l'actuelle SA, les outils de financement sont davantage destinés aux acteurs de grande taille, contraignant les plus petites entreprises à s'associer à un industriel de taille plus conséquente pour bénéficier d'une aide.

**Proposition n° 1 : Dans le cadre d'un soutien de l'innovation dans la filière des semi-conducteurs par des financements publics<sup>13</sup>, assouplir les critères de sélection pour les jeunes entreprises, en allégeant pour ces acteurs les obligations liées à la caractérisation d'un *funding gap* et au respect de jalons techniques.**

À cet égard, et dans le cadre du futur PIIEC, les projets de R&D regroupant plusieurs acteurs émergents pourront être encouragés et favorisés, plutôt que de promouvoir la coordination de projets autour d'un chef de file.

### 1.2.2. Les sources de financement du programme Nano 2022 sont peu articulées

**Les nombreuses sources de financements du programme Nano 2022 par l'État illustrent une ingénierie financière particulièrement complexe<sup>14</sup>.** Ces sources sont schématisées à la figure 2. Il s'agit :

- ◆ du PIA 3 via la caisse des dépôts et consignations (CDC), pour 368 M€ ;
- ◆ du programme 192 « recherche et enseignement supérieur en matière économique et industrielle » piloté par le ministère de l'économie et des finances, pour 74 M€ ;
- ◆ des programmes 144 « environnement et prospective de la politique de défense » et 191 « recherche duale (civile et militaire) », pilotés par le ministère des armées, pour 70 M€. mais non fléchés vers des projets ayant des applications militaires ;
- ◆ du fond pour l'innovation et l'industrie (FII) opéré par Bpifrance pour 175 M€ initialement<sup>15</sup>.

Pour les subventions de l'État, l'engagement et le versement des crédits ont été gérés par la DGE, la CDC et la DGA. Cette triple source a généré une multiplication des conventionnements.

---

<sup>11</sup> Sur le modèle des *Advanced Research Project Agencies* américaines : cf. par exemple Aghion, Philippe, Jing Cai, Mathias Dewatripont, Luosha Du, Ann Harrison, and Patrick Legros. 2015. "Industrial Policy and Competition." *American Economic Journal: Macroeconomics*, 7 (4): 1–32.

<sup>12</sup> Les stratégies d'accélération constituent les priorités d'investissements dans le cadre du quatrième programme d'investissements d'avenir, inclus dans le plan France 2030.

<sup>13</sup> Au-delà de la règle du *de minimis*.

<sup>14</sup> Constat partagé dans « *Le programme d'investissement d'avenir : un acquis à consolider, un rôle spécifique à mieux définir* », S 2021-2089, Cour des comptes, octobre 2021.

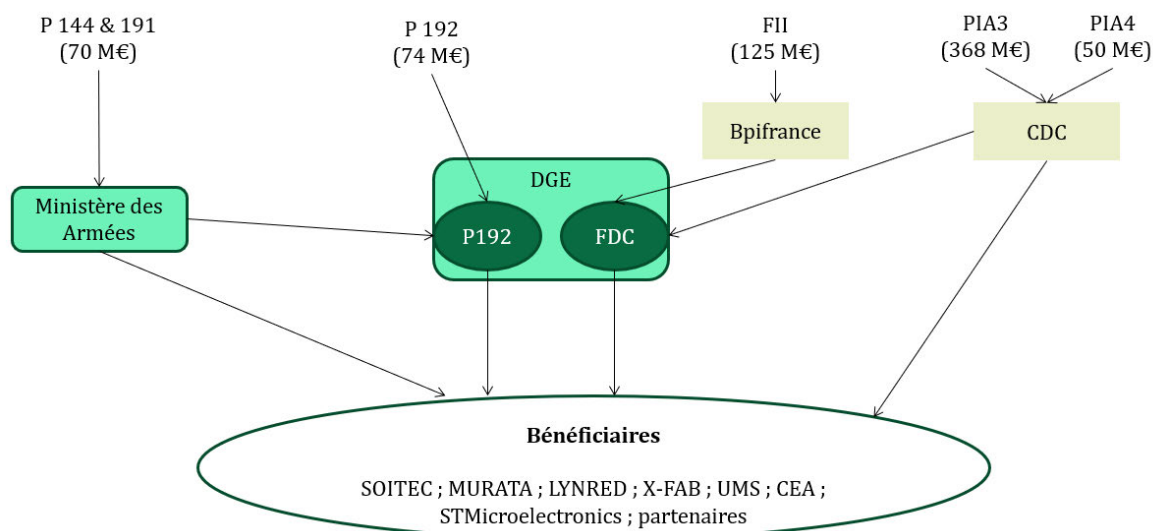
<sup>15</sup> La mise en extinction du FII, actée dans la loi de finances 2023 a modifié la source des 25 M€ prévus à chacune des années 2023 et 2024, qui ont été financés par le PIA 4.

**Le suivi du programme, fondé sur une gouvernance également complexe autour de trois instances et de comités locaux, s'est déroulé en pratique sous la direction de la DGE.**

En pratique, les avancées de la recherche susceptibles de représenter des innovations technologiques pour le secteur des semi-conducteurs et d'ouvrir des perspectives de marché pour les acteurs français ont été identifiées par les industriels, sous l'égide du comité stratégique de filière et de l'alliance des composants et systèmes pour l'industrie électronique (ACSIEL), l'organisation professionnelle de la filière industrielle électronique en France. Les propositions ont été communiquées à la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) du ministère chargé de la recherche et à la direction générale de l'armement (DGA) du ministère des armées, et expertisées par la DGE.

Les acteurs privés et publics intéressés par les axes stratégiques ont élaboré des projets concrets et un dossier technico-financier justifiant le recours à une aide publique. Les projets français ont été expertisés par la DGE selon une logique de guichet : le ministère chargé de l'économie a réalisé l'expertise technique des projets de R&D et de première industrialisation et a demandé des amendements directement aux porteurs. **Il n'y a pas eu de recours à une expertise indépendante externe ni d'évaluation formalisée des projets. Aucun exemple de projet refusé n'a été porté à la connaissance de la mission.** Par la suite, les montants d'aide ont été déterminés selon les besoins remontés par les acteurs, et recalibrés en fonction de la disponibilité budgétaire.

**Figure 2 : Circuit des subventions du programme Nano 2022 accordées par l'État**



Source : Mission.

**Appréciée des acteurs économiques du fait de son importante centralisation à la DGE, l'organisation du programme Nano 2022 appelle les remarques suivantes de la mission :**

- ◆ l'absence de recours à une expertise scientifique indépendante pour la sélection des projets et l'acceptation de tous les projets après dialogue témoignent d'une faible sélectivité des projets, qui ne garantit pas la qualité de l'innovation technologique financée tout en maintenant un processus plus lourd que le soutien non dirigé à l'innovation ;
- ◆ les indicateurs de suivi des projets constituent davantage des jalons de suivi techniques, qui ne permettent pas d'estimer *ex ante* ou *in itinere* les performances économiques des projets ;

## Rapport

- ◆ s'il est important que les collectivités locales soient parties prenantes de ces projets qui structurent leurs territoire et y contribuent, dans Nano 2022 en s'adossant au travail d'instruction et de suivi de l'État elles, elles ont un rôle annexe, de financeurs de « complément », permettant de réduire à la marge les financements accordés par l'État. À cet égard, la mission constate également que la DGE n'a pas de vision exhaustive des financements accordés par les collectivités territoriales aux projets du programme Nano 2022. Pour autant, les implantations industrielles soulèvent des problématiques marquées en matière de transport, d'artificialisation des sols et de consommation des ressources, qui se situent dans le champ de compétence des collectivités et nécessitent leur implication.

Toutefois, ces remarques n'appellent pas toutes de propositions formelles dans la mesure où la mise en place de France 2030 a déjà conduit à simplifier le financement public de la filière microélectronique, avec la disparition des programmes « Nano » en tant que tels et la délégation du suivi technique et financier à Bpifrance, la DGE devant se consacrer davantage à l'analyse économique du secteur.

**Proposition n° 2 : Financer les programmes de soutien à la filière électronique sur fonds État. Maintenir l'implication des collectivités territoriales dans les projets de soutien industriels en privilégiant des actions ressortant de leurs compétences (aménagement, transport, formation notamment) plutôt qu'en subventionnement direct aux acteurs.**

## 2. Le soutien public conféré par Nano 2022 a accompagné une amélioration de la situation économique des bénéficiaires, sans que l'effet de levier sur les actions de R&D puisse être déterminé de manière causale

### 2.1. Confrontées aux difficultés de construire une situation contrefactuelle, les évaluations des précédents programmes ne permettent pas de dresser un tableau fidèle de l'impact économique des financements publics

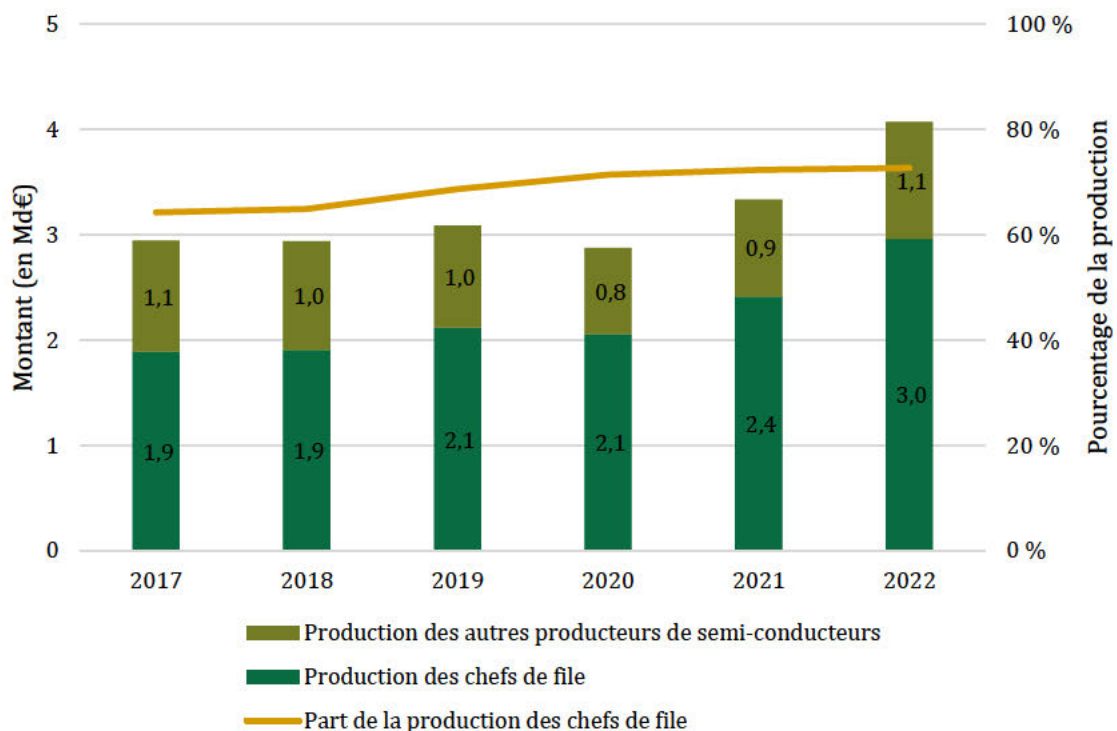
La succession des programmes Nano s'est accompagnée d'une amélioration progressive de la qualité des évaluations finales de ces programmes, quand bien même ces évaluations n'apportent pas d'analyse causale permettant de démontrer l'efficacité socio-économique des aides attribuées (cf. annexe II). Outre l'absence d'objectif économique précis assigné au programme (cf. 1.2.1), et la durée de collecte et de recul nécessaire pour que le programme produise des effets économiques, une évaluation causale permettant d'attester cette efficacité se heurte à plusieurs difficultés :

- ◆ la persistance du programme dans le temps, avec un soutien répété à la filière, qui ne permet pas d'isoler une date de mise en place du programme. **Au total, STMicroelectronics a bénéficié de 1,3 Md€ d'aides publiques nationales dans le cadre des quatre programmes Nano, de 2002 à 2022** (cf. annexe IV) ;
- ◆ la difficulté à isoler des situations contrefactuelles au sein de la filière : soit parce que l'entreprise aidée est trop spécifique (raison pour laquelle l'évaluation de Nano 2017 exclut les chefs de file, qui sont les principaux bénéficiaires du plan), soit parce que la quasi-totalité du secteur fait l'objet d'un soutien (par exemple pour Nano 2022 - cf. annexes II et IV). En effet, en 2022, la production totale française de semi-conducteurs s'élève à 4,1 Md€, dont 3,0 Md€ sont produits par les chefs de file du programme Nano 2022 (cf. graphique 2) : **la production des chefs de file représente ainsi 73 % de la production française de semi-conducteurs en 2022**. Cette part a augmenté durant la période du programme Nano 2022, passant de 64 % en 2017 à 73 % en 2022.

## Rapport

Ainsi, les rapports d'évaluations des programmes Nano précédents (analysés en annexe II) ne mentionnent pas d'objectifs chiffrés définis au lancement des programmes, et ne visent donc pas à estimer si les programmes ont atteint leur cible initiale. Les indicateurs retenus et les méthodes mobilisées sont hétérogènes et les résultats des évaluations ne sont pas comparables. La qualité de l'évaluation a augmenté entre l'évaluation finale de Nano 2012, qui établit la performance de STMicroelectronics en 2011 et l'impact de l'ensemble de son activité sur le territoire grenoblois, et celle de Nano 2017 qui s'intéresse à l'impact causal du programme sur le secteur en neutralisant les facteurs confondants. **Cependant, l'analyse économétrique proposée exclut les chefs de file (STMicroelectronics et CEA-Leti), faute de contrefactuel identifiable. La partie 2.3 apporte une méthodologie économétrique originale (détaillée en annexe VII) pour évaluer un effet causal du programme sur les investissements en R&D.**

Graphique 2 : Production totale de semi-conducteurs par les chefs de file et les autres producteurs



Source : Insee- enquête annuelle de production.

## 2.2. Sans pouvoir attribuer leur évolution au soutien public accordé, les données administratives montrent une hausse continue des indicateurs de performance économique des chefs de file industriels depuis 2015

### 2.2.1. La part du chiffre d'affaires et de la masse salariale des chefs de file du programme Nano 2022 dans l'industrie manufacturière française a augmenté entre 2017 et 2021

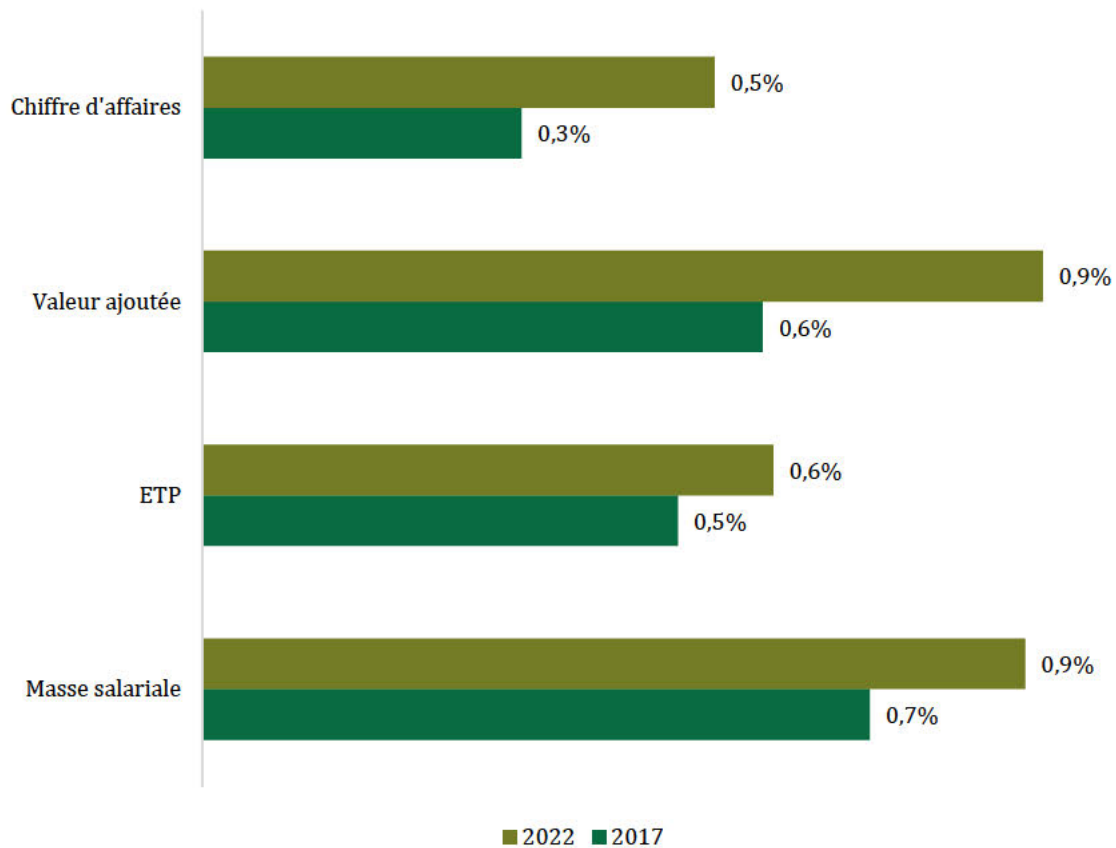
En 2021, 97 entreprises ont fabriqué des semi-conducteurs en France. Elles présentent des tailles variées : 10 sont des grandes entreprises (GE), 25 sont des entreprises de taille intermédiaire (ETI), 42 sont des petites et moyennes entreprises (PME) et 20 sont des micro-entreprises.

## Rapport

La production de semi-conducteurs représente la majorité du chiffre d'affaires (CA) des chefs de file du programme Nano 2022 : en 2022, celle-ci constituait 50 % du CA de ces entreprises. La situation est différente pour les autres producteurs de semi-conducteurs, pour lesquels ces produits ne représentent que 16 % du chiffre d'affaires la même année.

**Les chefs de file et partenaires industriels du programme Nano 2022 représentent une part réduite de l'industrie manufacturière française : en 2022, ils représentaient 1,2 % du chiffre d'affaires total de l'industrie.** Entre 2017 et 2022 cette part a augmenté, principalement portée par le dynamisme du chiffre d'affaires des chefs de file du programme, qui est passé de 0,3 % du CA de l'industrie à 0,5 % (cf. graphique 3). La part des chefs de file dans la valeur ajoutée (VA) de l'industrie manufacturière augmente entre 2017 et 2022 en passant de 0,6 % à 0,9 %. **Ces éléments correspondent néanmoins à la dernière année pour laquelle les données sont disponibles, soit avant le retournement conjoncturel du secteur des semi-conducteurs.**

**Graphique 3 : Part des chefs de file du programme Nano 2022 dans l'industrie manufacturière française**



*Source : FARE et DADS, calcul pôle sciences de données de l'IGF.*

### **2.2.2. En série longue les indicateurs d'activité et de rentabilité montrent une détérioration de la situation économique des chefs de file entre 2010 et 2014, suivie d'une amélioration continue à partir de 2015 qui s'accélère depuis 2021**

La situation économique des chefs de file aidés par le programme Nano 2022, qui était en cours de redressement au moment de son lancement en 2018, a poursuivi son amélioration tout au long du programme (cf. annexe IV). Les indicateurs d'activité et de rentabilité ont été peu impactés par la crise sanitaire de 2020, et semblent être repartis à la hausse immédiatement en 2021. Ainsi :

- ◆ **le chiffre d'affaires des chefs de file a atteint des niveaux et des taux d'évolution sans précédents au cours des années 2021 et 2022.** Par rapport à la période précédant le programme Nano 2022 (en 2017), le chiffre d'affaires des chefs de file a augmenté de 86 %. Ces performances sont exceptionnelles : dans le même temps, la somme des chiffres d'affaires des entreprises produisant des semi-conducteurs au niveau mondial a augmenté de 39 %<sup>16</sup>, et celui des industries manufacturières françaises de 16 % ;
- ◆ **après une baisse entre 2010 et 2014, la somme annuelle des excédents bruts d'exploitation (EBE) des chefs de file du programme Nano 2022 est en augmentation continue depuis 2015, et est strictement positive depuis 2016** (cf. graphique 4).

**Il n'est cependant pas possible d'attribuer ces évolutions à l'effet de Nano 2022**, car l'analyse descriptive ne permet pas d'identifier les autres facteurs qui ont pu impacter la performance des acteurs aidés, comme notamment la conjoncture et les évolutions mondiales du secteur.

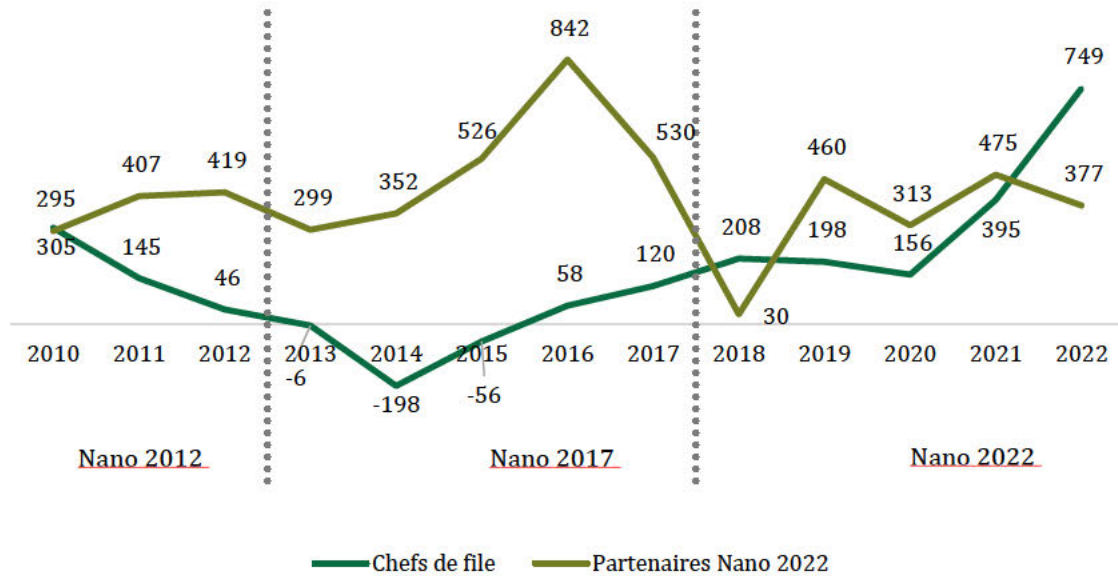
En ce qui concerne les partenaires du programme Nano 2022 :

- ◆ ils affichent des performances stables sur la période 2018-2022, alors qu'ils étaient en phase de croissance (pour les indicateurs analysés) sur la période 2010-2017 ;
- ◆ les partenaires de Nano 2022 ne suivent pas cette dynamique : leur EBE est stable entre 2010 et 2013 autour de 350 M€, puis augmente pour atteindre 842 M€ en 2016.

---

<sup>16</sup> Selon les données WSTS, bluebook data, août 2024.

Graphique 4 : Évolution de la somme de l'excédent brut d'exploitation (EBE)



Source : FARE, calcul pôle sciences de données de l'IGF.

### 2.3. L'analyse causale menée par la mission montre que la décision d'investissement en R&D par les entreprises ne peut être attribuée à l'existence du soutien public prévu par Nano 2022

Le programme Nano 2022 représente entre 14 et 21 % des sommes investies par les chefs de file dans la R&D. Depuis 2018, les chefs de file répondant au questionnaire adressé par la mission ont déclaré avoir bénéficié de 810,2 M€ de CIR, soit 2,2 fois les montants perçus au titre de Nano 2022. Les entreprises partenaires du programme ont une créance de CIR égale à 22,4 fois les montants touchés au titre de Nano 2022.

Les répondants au questionnaire ont déclaré 66 produits dont le développement a été réalisé dans le cadre des projets de Nano 2022 (cf. annexe IV). La grande majorité des développements ont été réalisés par des entreprises : seuls trois produits ont été développés par des laboratoires publics, pour des TRL bas (de 4 à la fin du programme, cf. graphique 5). Sur les 66 produits, 60 sont en cours de développement ou en phase de production, et 6 ont été arrêtés, soit un taux de chute de 9 % à la date de la mission.

Pour évaluer l'impact causal du programme Nano sur la décision d'investissement dans la R&D par les entreprises cheffes de file, la mission a réalisé une étude économétrique à partir d'un contrefactuel synthétique (résultats présentés en annexe IV et méthodologie en annexe VII). Cette méthodologie n'a été réalisable que pour six des douze unités légales des chefs de file. Elle montre que l'effet du programme Nano 2022 sur les dépenses de R&D n'est pas significatif pour quatre entités, et va en sens contraire pour les deux autres.

La recherche de contrefactuel synthétique a été effectuée pour chacun des chefs de file industriels du programme Nano 2022 : il s'agissait de construire une entreprise factice pour chacune des sept unités légales françaises de STMicroelectronics et des cinq autres chefs de file. L'évaluation visait à déterminer si le programme a aidé les entreprises à élargir leurs projets de recherche au-delà de ce qu'elles auraient réalisé en son absence. L'investissement des entreprises dans la R&D par la masse salariale des ingénieurs de R&D.

## Rapport

Pour des raisons de secret statistique, les résultats individuels de la modélisation présentés au tableau 4 ont été anonymisés, et les unités légales sont désignées par une lettre (de A à F) :

- ◆ pour quatre unités légales, l'évolution de la masse salariale des ingénieurs de R&D de la structure aidée n'est pas significativement différente de celle de son contrefactuel synthétique ;
- ◆ pour deux unités légales, les effets trouvés sont statistiquement significatifs mais dans des sens opposés :
  - pour l'une, l'évolution de la masse salariale est inférieure à celle de son contrefactuel ;
  - pour l'autre, la masse salariale a plus augmenté que celle de son contrefactuel, et l'amplitude de l'effet est important.

**Tableau 4 : Résultats de la modélisation économétrique de l'effet du programme Nano 2022 sur l'évolution de la masse salariale des ingénieurs de R&D**

Unité légale	Significativité de l'effet	p-valeur
A	Non significatif	0,37
B	Positif significatif	0,07
C	Non significatif	0,50
D	Négatif significatif	0,04
E	Non significatif	0,18
F	Non significatif	0,15

*Source : Pôle sciences des données de l'IGF | Note : pour des raisons de secret statistique les noms des entreprises sont anonymisés. Dans cette modélisation, un effet est considéré comme significatif lorsque sa p-valeur est inférieure à 0,1. Les résultats portent sur les unités légales pour lesquelles un contrefactuel stable a pu être élaboré.*

D'après les résultats de cette analyse causale, des effets positifs clairs du programme Nano 2022 sur le dynamisme de la R&D sont mis en évidence chez un seul chef de file, qui fait partie des plus petites structures aidées. Aucun effet positif n'est mis en évidence chez les autres, et l'effet est même négatif pour un des chefs de file.

D'après cette méthode, l'effet de levier du programme Nano 2022 sur les dépenses de R&D apparaît limité pour la plupart des chefs de file. Il semble cependant avoir eu un impact déterminant sur les plus petits établissements, ce qui appelle à considérer différemment les mécanismes de soutien à la R&D en fonction de la taille de l'acteur ciblé.

De manière générale, la mission ne peut exclure que les financements octroyés dans le cadre du programme Nano auraient été consentis par les acteurs pour réaliser ces projets de recherche, mais remarque que le programme peut conduire à faciliter et accélérer leur financement. C'est pourquoi la mission propose de généraliser le mécanisme des avances remboursables dans le cas d'investissements rentables (cf. *infra*).

D'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires, le TRL moyen des technologies des projets aidés par Nano 2022 était de 3,5 au début du programme, et seuls 8 % avaient un TRL supérieur ou égal à 7 (cf. graphique 5).

Ainsi, les projets du programme Nano 2022 ont soutenu l'avancée en maturité de technologies dans les zones de TRL où les développements sont principalement réalisés en partenariat entre acteurs privés et publics, ce qui correspond à l'objectif technique du programme.

**Proposition n° 3** : Généraliser les clauses de récupération (*clawback*) dans les versements de subventions de projets à des entreprises pour des niveaux de maturité technologique (*technology readiness level* – TRL) supérieurs ou égal à 4<sup>17</sup>. Afin de surmonter la difficulté à identifier des revenus associés à un projet en particulier, prévoir des clauses d'intéressement aux résultats financiers globaux des entreprises.

Dans le détail :

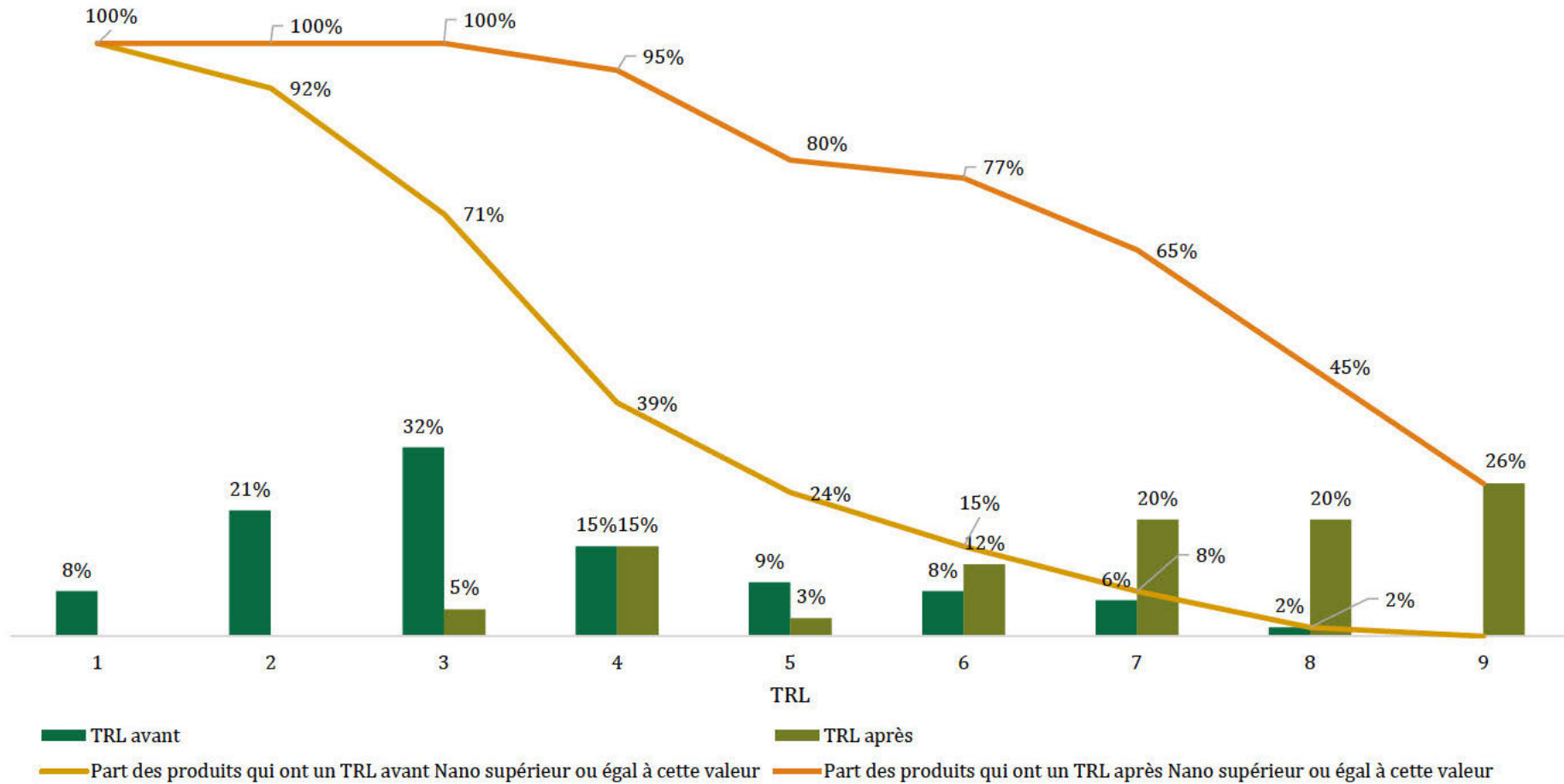
- ◆ avec le PIIEC ME-CT, les industriels recevant plus de 50 M€ d'aide publique sont soumis à une clause de récupération (« *claw back* »), qui impose le remboursement partiel ou total de l'aide en cas de surplus constaté *ex-post*. Les projets au-dessus de ce seuil représentent 86 % de l'aide publique octroyée. Cette clause, qui n'existait pas dans le premier PIIEC sur la microélectronique, a été incluse dans tous les PIIEC qui ont suivi. Pour la France, les entreprises Soitec et STMicroelectronics sont soumises à cette clause de récupération.
- ◆ généraliser ces clauses de remboursement des avances à l'ensemble des projets aux TRL les plus élevés est justifié dans la mesure où ces projets permettent une commercialisation – et donc de générer des revenus – plus rapidement pour l'entreprise. Plus proches de la mise en vente, l'identification des flux de revenus (*cashflows*) associés à ces projets est également plus aisée, ce qui facilite la mise en œuvre effective de ces clauses de récupération. À titre d'exemple, dans Nano 2022, 39 % des projets avaient un TRL initial supérieur à 4 ;
- ◆ pour faciliter le caractère opérationnel de cette proposition, la mission suggère de diversifier les clauses de remboursement, en particulier pour les plus petites entreprises. Elles pourraient ainsi être établies non seulement sur les revenus générés par le projet lui-même, mais aussi à partir des revenus financiers globaux des entreprises. De telles clauses d'intéressement pourraient être contractualisées au moment de l'octroi de la subvention et pourraient être adossées à différents indicateurs (par exemple chiffre d'affaires, profit pluriannuel, revenus associés aux brevets, etc.).

---

<sup>17</sup> Correspondant à la validation de la technologie en laboratoire, avant l'étape du prototypage.

## Rapport

**Graphique 5 : Avancée en TRL des produits développés dans le cadre des projets aidés par le programme Nano 2022**



*Source : Mission d'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires du programme Nano 2022.*

### 3. Des vulnérabilités sont identifiées sur la chaîne de valeur des semi-conducteurs mais une coordination européenne resserrée permettrait de renforcer le niveau de souveraineté sur certains segments

#### 3.1. Les projets soutenus financièrement *via* le programme Nano 2022 ont facilité le développement de technologies répondant à une stratégie industrielle spécifique

##### 3.1.1. Les projets financés par Nano 2022 n'avaient pas pour objet de rattraper le retard technologique sur les puces les plus avancées, mais de développer certains domaines de spécialité correspondant aux besoins d'industries aval

Le plan Nano 2022 ne visait pas à rattraper le retard technologique sur les puces les plus avancées<sup>18</sup>, mais à répondre aux besoins des industries aval domestiques tout en renforçant les principales compétences des industries électroniques françaises (cf. annexe III). Le plan Nano 2022 a ainsi ciblé les quatre champs thématiques suivants, le champ des composants numériques basse consommation étant prépondérant<sup>19</sup> :

- ◆ composants numériques basse consommation, et notamment le développement de la technologie FD-SOI (*fully depleted silicium on isolant*), des mémoires non volatiles embarquées et des composants radio fréquences RFSOI. Les technologies SOI utilisent des types de plaquettes particulières qui permettent d'améliorer la performance tout en réduisant la consommation d'énergie. Cette technologie est particulièrement adaptée pour les **objets connectés, certaines applications embarquées** ou encore certains systèmes de traitement du signal radiofréquences utiles aux technologies 5G ;
- ◆ capteurs, notamment le développement de nouveaux capteurs optiques, de mouvement ou de champ magnétique avec des performances améliorées et une précision accrue. Ces capteurs peuvent être adaptés à plusieurs segments aval : conduite autonome, IoT, smartphones notamment ;
- ◆ composants de puissance. Cet axe vise à développer de nouvelles technologies de composants pour les appareils intelligents (IoT) ainsi que pour les véhicules électriques et hybrides. Il s'agit d'augmenter la fiabilité et d'améliorer la performance énergétique des composants finaux<sup>20</sup> ;
- ◆ semi-conducteurs composites, notamment les technologies à nitrure de gallium (GaN) et à carbure de silicium (SiC). Les domaines d'application naturels sont l'**électronique de puissance notamment utilisée dans le cadre de la mobilité électrique** (chargeurs de batterie rapide, onduleurs, convertisseurs de puissance pour les trains ou les véhicules électriques), les télécommunications (amplificateurs de puissance radiofréquence notamment pour les fréquences hautes de la 5G, les radars et les systèmes satellites), ou encore l'aéronautique aérospatiale et militaire nécessitant de faire fonctionner les composants électroniques dans des environnements extrêmes.

---

<sup>18</sup> La course au More Moore a été abandonnée par le dernier fondeur français (STMicroelectronics) à la génération 28 nm. Le projet Liberty à Crolles, en collaboration avec l'américain Global Foundries, devrait permettre de développer les niveaux de gravure de 10 nm sur des supports FDSOI.

<sup>19</sup> Il représente la moitié des financements accordés, 48 % des brevets déposés, 51 % des conférences, 57 % des publications et 57 % des thèses et postdocs déclarés (calcul mission, sur la base des données de reporting européen)

<sup>20</sup> Rapport intermédiaire Deloitte ; les thémas de la DGE, janvier 2024, les projets importants d'intérêt européen commun, un outil de politique industrielle européenne ; IPCEI on Microelectronics – Key technology for Europe, Federal for economic affair and climate action, Germany.

**Les grands champs technologiques adressés par le plan Nano 2022 correspondent aux principaux marchés domestiques aval** (cf. tableau 5). Les quatre champs technologiques ciblés intéressent le secteur de l'automobile, que ce soit dans le cadre du développement du véhicule électrique (électronique de puissance, semi-conducteurs composites) ou du véhicule autonome (FDSOI, capteurs, mémoires embarquées). Ils permettent de se positionner sur un marché en croissance, l'internet des objets (*via* les capteurs et les technologies FDSOI notamment), et de conserver un atout important sur celui des smartphones et télécommunications (*via* les technologies RFSOI).

**Une politique publique visant à soutenir certains produits ne garantit pas l'existence d'une demande domestique pour ces produits. D'autres déterminants (compétitivité-prix, diversification des sources d'approvisionnement, etc.) sont de nature à influencer sur les comportements d'approvisionnement des groupes industriels situés sur les marchés aval.** Ainsi, si les industries aval constituent *in fine* les cibles des technologies soutenues, il apparaît que le chiffre d'affaires des produits visés par le programme Nano 2022 entre 2018 et 2021 a été principalement réalisé à l'export (742 M€ sur 767 M€<sup>21</sup>, soit 96 %). Sans qu'il soit possible de le quantifier, cela peut s'expliquer par les nombreux intermédiaires sur la chaîne de valeur entre le producteur de composants électroniques et l'industriel final, notamment sur le segment de l'assemblage, du test et du packaging qui est principalement réalisé en Chine et en Asie du sud-est.

**Au sein de Nano 2022, les choix technologiques opérés par l'État sont ceux correspondant aux compétences et capacités des industriels présents sur le territoire, mais ne sont pas exempts de risques stratégiques.**

**Ainsi, les entreprises françaises Soitec et STMicroelectronics sont leader sur la technologie FDSOI<sup>22</sup>**, qui présente des perspectives de développement comme une piste alternative au « *More Moore* » pour poursuivre la miniaturisation des puces. Ces entreprises investissent actuellement pour industrialiser certains procédés partiellement développés dans le cadre du plan Nano<sup>23</sup>. Toutefois ces investissements « à la frontière technologique » n'en demeurent pas moins porteurs de risques :

- ◆ opérationnels : le projet Liberty mené par STMicroelectronics sur son site de Crolles en lien avec GlobalFoundries s'inscrit dans la lignée des travaux menés dans le cadre du plan Nano<sup>24</sup>. Or, la participation de GlobalFoundries à ce projet capacitaire soutenu dans le cadre de France 2030 semble désormais incertaine<sup>25</sup> ;
- ◆ technologiques : dans la mesure où des progrès en termes de miniaturisation continuent d'être réalisés au sein des fonderies des concurrents TSMC et Samsung, utilisant une autre technologie.

---

<sup>21</sup> Rapport intermédiaire Deloitte, tableaux 16 et 17.

<sup>22</sup> *Expanding our sustainable value creation ambitions*, présentation Soitec, juin 2023.

<sup>23</sup> Soitec mène ainsi des travaux préparatoires concernant l'extension du site de Bernin 2 pour porter la capacité de production totale de l'usine de 650 000 à 800 000 plaques de 300 mm par an (FD SOI, Photonique SOI, RF SOI). L'usine de Bernin 3, anciennement dédiée à la R&D, devrait quant à elle être réallouée à la production pour substrats POI 150mm (filtres RF).

<sup>24</sup> Cette nouvelle ligne doit permettre de produire des wafers FDSOI en 22 nm, puis en 18 nm, avec un objectif de production de 15 000 wafers par semaine (*Nano 2022 / IPCEI Microelectronics*, Rapport d'information STMicroelectronics, 13 mai 2023). Elle doit également servir à la recherche et développement de composants FDSOI en 10 nm.

<sup>25</sup> Voir par exemple *En Isère, GlobalFoundries est-il en train de lâcher STMicroelectronics pour sa mégafab à Crolles ?*, L'Usine Nouvelle, 27 mars 2024

## Rapport

**Tableau 5 : Matrice croisée intrants et savoir-faire vs type de composant**

	Typologie	Composant logiques avancés	Composants logiques matures	Composant logique spécifique IA	Mémoires	Composants analogiques et capteurs	Composants de puissance
<b>Table de dépendance</b>							
Intrants	Wafers de silicium	JP	JP	JP	JP	JP	JP
	Wafers en matériaux composés	Non applicable (N.A.)	N.A.	N.A.	N.A.	FR	FR
	Masques et résines	JP	JP	JP	JP	JP	JP
	Intrants chimiques gazeux	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA
	Intrants chimiques liquides	USA, JP, UE	USA, JP	USA, JP	USA, JP	USA, JP	USA, JP
Machines-outils et logiciels de conception	Équipement fonderie	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA
	... dont machines de photolithographies EUV	NL	N.A.	NL	N.A.	N.A.	N.A.
	... autres équipements nécessaires à la fonderie	JP, USA	JP, USA	JP, USA	JP, USA	JP, USA	JP, USA
	Logiciels EDA	USA, UK	USA, UK	USA, UK	USA, UK	USA, UK	USA, UK
Production	Capacités (conception)	USA	Réparti	USA	CO	Réparti	Réparti
	Capacités (fonderie)	TW, USA, CO	Réparti	TW, USA, CO	TW, USA, CO	Réparti	Réparti
Assemblage, testing, packaging	Intrants ATP (fils, céramiques)	JP	JP	JP	JP	JP	JP
	Machines-outils ATP	Réparti	Réparti	Réparti	Réparti	Réparti	Réparti
	Capacités industrielles ATP	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA
<b>Usages, perspectives et soutien public</b>							
	Secteur aval	Automobile, Smartphone, PC et data center	Automobile, IoT	Automobile, Smartphone, PC et data center	Automobile, Smartphone, PC et data center, IoT	Automobile, IoT	Automobile, IoT
	Croissance 2020-2023	+40 %		+100%	-30 %	+30 %	+60%
	Croissance prévue 2020-2030	+150 %		+2 200%	+200 %	+120 %	+230%
	Soutien IPCEI	✗	✓	✗	✗	✓	✓
	Soutien Chips Act	✗	✓	✗	✗	✗	✗

Source : Mission, sur la base du rapport intermédiaire Deloitte, des documents transmis par le CEA.

Note de lecture : Cases colorées en vert : segments sur lesquels la France possède des acteurs importants sur la chaîne de valeur ; en bleu, ceux pour lesquels l'Europe possède des acteurs importants sur la chaîne de valeur ; en orange, les principales vulnérabilités (cf. Annexe V). Liste des pays : États-Unis (USA), Chine (CN), Japon (JP), Corée (CO), Taiwan (TW), Asie du sud-est (SEA), Union Européenne (UE), France (FR), Pays-Bas (NL), Royaume-Uni (UK).

### 3.1.2. Le soutien public français et européen à la filière des semi-conducteurs a favorisé le dynamisme de l'écosystème industriel et de la recherche publique

**Il ressort des investigations de la mission que la mise en place d'un programme tel que Nano 2022 est vertueux pour structurer un écosystème d'acteurs publics et privés, et s'inscrit dans le développement de la recherche partenariale.** En effet :

- ◆ le CEA-LETI est reconnu comme incontournable dans l'écosystème grenoblois des semi-conducteurs. Le laboratoire est notamment membre fondateur de l'institut de recherche technologique (IRT) Nanoelec et participe au pôle de compétitivité Minalogic<sup>26</sup> ; il est membre du réseau des instituts Carnot<sup>27</sup> depuis 2006. En 2023, le CEA-Leti faisait partie des cinq plus gros déposants mondiaux de brevets dédiés aux semi-conducteurs, et le premier européen. Les recettes du CEA-Leti sont composées d'une dotation récurrente du CEA pour environ 20 %, de contrats industriels directs pour 40 % et de contrats publics de recherche pour 40 % (dont les programmes Nano qui en représentent la majeure partie sur la période 2018-2022) ;
- ◆ l'existence même de projets financés par Nano 2022 permet de renforcer l'écosystème et les partenariats entre acteurs :
  - la notion de « chef de file » implique pour les entreprises financées de mener des projets avec d'autres acteurs, laboratoires publics ou acteurs privés ;
  - les champs technologiques visés par le programme d'aide conduisent à faire essaimer des technologies inventées au sein du CEA. C'est par exemple le cas de la technologie « *silicium on isolant* » (SOI), qui a été inventée par le LETI dans les années 1990 ;
- ◆ au niveau européen également, l'articulation du PIIEC et du *Chips Act* européen (cf. 1.1.2) permet de clarifier les domaines de compétences respectives des grands instituts publics de recherche en matière de microélectronique : le FD-SOI pour le CEA-Leti, montage et emballage pour le Fraunhofer IZM en Allemagne et *More Moore* pour l'IMEC en Belgique.

**La préservation d'un tel écosystème est porteuse d'externalités positives. Par exemple, l'objectif pour le secteur de la défense<sup>28</sup> n'est pas de disposer de capacités de production dédiées, mais d'un écosystème domestique d'entreprises à même d'assurer la production des composants critiques qui entrent dans ses systèmes d'armes.** Les industriels de l'armement ne sont que peu donneurs d'ordre<sup>29</sup> dans la mesure où ils recourent principalement à des produits développés dans le cadre civil. En effet, si les composants électroniques sont des actifs stratégiques pour la défense, la réciproque n'est pas vraie : depuis plus de vingt ans, les ventes de semi-conducteurs destinés à des applications militaires représentent en effet de l'ordre de 1 % du total des ventes de composants électroniques.

---

<sup>26</sup> Minalogic est un pôle de compétitivité autour du numérique implanté à Grenoble, Lyon et Saint-Étienne, il réunit entreprises, centres de recherche, chambres de commerce et d'industrie et collectivités territoriales afin d'accompagner les projets de développement et de rayonnement des acteurs de la filière numérique.

<sup>27</sup> Les instituts Carnot sont des structures de recherche publique labellisées par le ministère chargé de la recherche pour leur compétence à mener des projets de recherche partenariale avec des entreprises. À la date de la mission, il y a 39 instituts labellisés en France, qui représentent 55 % de la recherche et développement (R&D) financée par des entreprises à la recherche publique française.

<sup>28</sup> Financé par d'autres canaux budgétaires que le programme Nano, en dehors du champ du présent rapport.

<sup>29</sup> Sur certaines technologies, la défense exprime néanmoins des besoins spécifiques qui dépassent les performances atteintes dans le cadre civil.

Dans la mesure où l'ensemble de la chaîne de valeur est représentée en France, il semblerait que cet écosystème réponde aux besoins des donneurs d'ordre : les entreprises Dolphin, EASIIC, Nano Explore, Pixalis sont présentes sur la partie conception ; l'entreprise STMicroelectronics dispose de capacités de fonderies ; l'entreprise Egide est présente sur le packaging ; enfin, des acteurs importants comme Thales sont en mesure d'intégrer les composants dans des systèmes complexes.

**Proposition n° 4 : Veiller à la continuité de l'action publique en matière d'orientation de la recherche et maintenir les actions de coordination et d'échanges des acteurs, en particulier autour des centres de recherche publics :**

- ◆ au niveau local, de manière à renforcer les écosystèmes régionaux, notamment grenoblois, avec la recherche partenariale ;
- ◆ au niveau européen, de manière à susciter des partenariats transnationaux en fonction des domaines de spécialité.

### **3.2. La vulnérabilité de la France et de l'Europe en matière de semi-conducteurs, liée à la fragmentation de la chaîne de valeur, a été mise au jour par la crise du Covid**

Bien que n'apparaissant pas explicitement dans les objectifs initiaux du programme Nano 2022, **le maintien et le développement d'une filière électronique en France et en Europe peuvent être reliés à des enjeux de souveraineté industrielle.** De par sa position amont sur la chaîne de valeur (cf. annexe III), le secteur électronique possède un caractère qui peut se révéler stratégique pour les industries aval, notamment l'automobile, l'aéronautique ou les industries de défense (cf. 3.1).

**L'analyse des savoir-faire pour chaque étape de la chaîne de valeur pour chaque grande typologie de composants microélectroniques montre qu'aucun pays ou grande zone géographique ne maîtrise l'ensemble de la chaîne de valeur pour un ou plusieurs types de composants** (cf. tableau 5). Dans ce contexte la mission estime qu'un soutien public à des acteurs de la filière doit être envisagé de manière à :

- ◆ préserver certaines compétences (design et fonderie) qui peuvent être redéployées en cas d'évolution des technologies ou de retournement d'un marché particulièrement cyclique ;
- ◆ le cas échéant, investir certains segments (i) accessibles étant donné les compétences à l'œuvre, comme les composants de puissance et les capteurs pour les véhicules électriques et autonomes (ii) porteurs en termes de croissance anticipée. À cet égard, le développement de compétences dans les capacités de conception en composants logiques spécifiques à l'intelligence artificielle (IA) paraissent les plus porteurs ;
- ◆ être articulé fortement au niveau européen, notamment pour le volet capacitaire, dans un contexte de finances publiques dégradées, afin d'éviter une course aux subventions (cf. 3.3.2).

**En conséquence, la mission estime que cette fragmentation de la chaîne de valeur constitue une source importante de vulnérabilité. Ainsi, des dépendances en amont et en aval de la chaîne sont identifiées pour la France et l'Europe.**

## Rapport

**Tableau 6 : Matrice des risques de rupture de la chaîne d’approvisionnement européenne en composant électronique**

	Probabilité faible	Probabilité médiane	Probabilité forte	Probabilité très forte
Impact très fort	Risque naturel susceptible de bloquer l’ensemble de la chaîne de valeur	Crise significative (blocus, invasion militaire) à Taiwan		
Impact fort	Blocage des échanges commerciaux en mer de Chine		Risque naturel susceptible de restreindre temporairement l’accès à un intrant essentiel sur la chaîne de valeur	
Impact médian		Escalade dans le conflit commercial latent entre la Corée et le Japon		Renforcement des mesures commerciales entre les États-Unis et la Chine
Impact faible				

*Source : Mission.*

## Rapport

Cette vulnérabilité de la chaîne d'approvisionnement vis-à-vis des principaux aléas identifiés, et notamment ceux d'ordre géopolitique a été analysée en annexe V : le résultat de l'analyse est présenté de façon synthétique sous la forme d'une matrice des risques dans le tableau 6. Hors risques naturels, la mission identifie deux facteurs de risques importants pour la filière, d'ordre géopolitique :

- ◆ l'escalade des tensions entre la Chine et les États-Unis constitue à ce jour le principal facteur de risque, ces deux acteurs étant fortement présents sur la chaîne de valeur. Ces tensions ont conduit à des mesures d'ordre commercial, avec des dispositifs de contrôle export et de contrôle des investissements entrants mis en place par les États-Unis, dont l'objet est explicitement de freiner le développement technologique chinois ;
- ◆ le conflit commercial latent entre le Japon et la Corée constitue le second facteur de risque identifié sur la chaîne de valeur.

### 3.3. Dans un contexte d'interdépendance des acteurs au niveau mondial, deux stratégies de maîtrise des risques coexistent, les politiques publiques à déployer dépendent du niveau de développement sectoriel

#### 3.3.1. Les grands pays industrialisés disposent tous de moyens publics importants pour soutenir leur industrie domestique de semi-conducteurs

L'ensemble des pays industrialisés ayant des capacités industrielles en matière de semi-conducteurs ont développé des plans de soutien à la filière électronique : ceux-ci sont résumés schématiquement au tableau 7 et présentés plus en détails en annexe VI. La typologie et le niveau du soutien public dépendent de deux principaux facteurs :

- ◆ **le niveau technologique atteint dans l'industrie domestique :**
  - les pays en phase de rattrapage technologique (USA sur la partie fonderie, Chine, Europe, Japon) ont mis en place un soutien financier public en faveur de la R&D d'une part et pour l'installation de nouvelles capacités de production d'autre part. En général (USA, Chine, Japon), ces aides directes sont complétées par des mesures plus ou moins temporaires de protection du marché intérieur (tarification douanière, préférence nationale, contrôle export) ;
  - à l'inverse, les pays les plus en avance (Corée, Taiwan) privilégient des dispositifs de soutien fiscal à la recherche et développement pour préserver leur avance technologique. Ils s'attachent également à préserver un climat favorable (normatif, fiscal) au développement industriel ;
- ◆ **les moyens et ambitions :** les États-Unis et la Chine sont les deux seuls acteurs à viser l'indépendance sur l'ensemble de la chaîne de valeur (design, fonderie, packaging). Pour cela, ils financent la filière *via* d'importants soutiens public (de l'ordre de 75 Md\$ aux États-Unis d'ici 2030, de l'ordre de 100 Md\$ pour la Chine *via* les *big funds*). Ils sont également les seuls à disposer d'un marché aval complet, leur permettant d'écouler localement la production de composants électroniques. **L'Europe et le Japon ont développé des stratégies moins ambitieuses, visant essentiellement à regagner des parts de marché dans leurs secteurs de spécialité.**

**L'Europe constitue le seul acteur à ne pas protéger son marché intérieur<sup>30</sup> *via* des mesures protectionnistes de contrôle export, de tarification douanière ou de préférence domestique.**

---

<sup>30</sup> Récemment, la politique commerciale s'est toutefois munie d'outils défensifs (droits anti-*dumping*, par exemples) mais pas de mesures protectionnistes à proprement parler.

## Rapport

**Tableau 7 : Comparaison des dispositifs de soutien mis en œuvre par les principaux acteurs disposant de capacités de production**

	<i>États Unis</i>	<i>Chine</i>	<i>Europe</i>	<i>Japon</i>	<i>Corée</i>	<i>Taiwan</i>
<b>Objectifs globaux</b>	Souveraineté sur l'ensemble de la chaîne de valeur des semi-conducteurs	Fournir 70 % des besoins domestiques d'ici 2025	Atteindre 20 % de parts de marchés au niveau mondial	Triplement du chiffre d'affaires d'ici 2030 (objectif 100 Md\$) ; atteindre le niveau 2nm d'ici 2027	Rester leader sur la production de mémoires ; devenir leader sur le marché des puces logiques	Rester leader dans le domaine de la fonderie, atteindre le niveau 1 nm d'ici 2030
<b>Soutien direct (subventions)</b>	Soutien total : 50 Md\$, dont : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R&amp;D et première industrialisation : 11 Md\$ entre 2022 et 2026 ;</li> <li>▪ production : 39 Md\$ annoncées dont 28 Md\$ déjà fléchées</li> </ul>	« Big fund », soutien total de 96 Md\$	Soutien total : 30 Md\$ fléchés, dont : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R&amp;D et première industrialisation : 10 Md€ entre 2018 et 2026 ;</li> <li>▪ production : 20,5 Md€ de subventions fléchées dont 11,6 Md€ suspendues</li> </ul>	24 Md\$ de subventions fléchées depuis 2021 ; investissements sous forme de capitaux propres et de dettes subordonnées (Bank of Japan)	Programme de prêts à hauteur de 14 Md\$ (banque coréenne de développement)	9 Md\$ entre 2024 et 2033 (design de puces IA)
<b>Politique commerciale</b>	Politique de contrôle export à destination de la Chine (portée extraterritoriale) ; politique de contrôle des investissements (portée extraterritoriale)	Tarifification douanière et favoritisme envers les producteurs domestiques ; incitation à l'achat domestique	Mesures défensives (enquêtes anti-dumping ouvrant possibilité de droits compensateurs).	Mesures de contrôle export sur les équipements et technologies	N.D.	N.D.

*Source : Mission, d'après le rapport "Emerging Resilience in the Semiconductor Supply Chain" du BCG et de la SIA, mai 2024 ; notes fournies par les services économiques régionaux ; articles de presse.*

### 3.3.2. Le soutien public engagé dans le cadre du *Chips Act* européen constitue une amorce de politique de rattrapage, la coordination au niveau européen doit être renforcée afin d'harmoniser politiques de recherche, politiques industrielles et politiques commerciales

En matière de technologies stratégiques, les politiques publiques de soutien qui peuvent être déployées rentrent dans trois catégories : **politiques d'innovation, politiques industrielles et politiques commerciales**. Au sein de chacune de ces catégories, on peut estimer (cf. annexe V<sup>31</sup>) que les politiques adéquates diffèrent en fonction du niveau et de l'ambition de développement technologique, selon que la technologie domestique est à l'état de l'art, en phase de décrochage ou en phase de rattrapage :

- ◆ maintien à l'état de l'art : le soutien des champs technologiques qui constituent des domaines de spécialité passe par des mesures non ciblées de soutien à la recherche et au développement. Le passage de la recherche fondamentale à la production industrielle peut être facilité par le renforcement des modes de collaboration entre le monde académique et le monde industriel. Le développement d'un marché de capitaux dynamique permet quant à lui de financer les projets industriels matures. Enfin, l'ouverture du commerce international donne accès à de nouveaux marchés aux technologies domestiques ;
- ◆ mitigation du décrochage : les domaines technologiques stratégiques en cours de décrochage doivent être identifiés et faire l'objet d'un soutien ciblé, tant en termes de politique industrielle (prêt, subvention aux entreprises en perte de vitesse) que commerciale (mesures défensives, notamment pour faire face à des mesures protectionnistes adverses) ;
- ◆ les politiques de rattrapage : sur les segments identifiés comme stratégiques et sur lesquels un retard est constaté, la puissance publique peut décider d'amorcer une stratégie de rattrapage (exemple du plan *Made in China 2025*, cf. Annexe VI). Dans ce cas, l'innovation ciblée dans le domaine visé doit être soutenue, ainsi que l'implantation d'industries naissantes *via* un appui financier (prêt, subvention) et une protection commerciale temporaire. L'implantation d'entreprises étrangères spécialisées grâce à une politique d'attractivité est de nature à accélérer le rattrapage.

Comme présenté au 3.3.1 et en annexe VI, **le *Chips Act* européen constitue une première réponse coordonnée à l'échelle européenne pour soutenir la filière continentale de semi-conducteurs, dans une visée de développement capacitaire**. Le *Chips Act* complète ainsi les PIIEC portant sur la microélectronique puisque ceux-ci permettent le soutien à la R&D. La politique européenne de soutien à la filière apparaît néanmoins comme incomplète (cf. tableau 8) dans la mesure où elle se prive du levier commercial et de la protection des entreprises naissantes pour mettre en œuvre une politique de rattrapage sur certains segments de la chaîne de valeur.

Les propositions *infra* ainsi que les développements présentés en 3.2 sont cohérents avec certaines recommandations du rapport Draghi<sup>32</sup> encourageant à :

- ◆ accélérer le taux d'innovation européen, afin de maintenir une position de *leader* industriel et d'assurer le développement de nouvelles technologies ;

---

<sup>31</sup> Janger, Jürgen (2024) : Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty, FIW-Kurzbericht, No. 61, FIW - Research Centre International Economics, Vienna.

<sup>32</sup> *The Future of European competitiveness*, September 2024.

## Rapport

- ◆ concevoir des politiques industrielles, commerciales et de concurrence qui interagiraient étroitement et seraient alignées dans le cadre d'une stratégie globale de maintien des compétences et de rattrapage ciblé.

**Proposition n° 5 : Privilégier une intervention au niveau européen dans la sélection des projets soutenus, de manière à éviter une course aux subventions entre États membres, en particulier pour les programmes d'industrialisation et de développement capacitaire, qui pourraient être structurés autour d'un mécanisme proche des *joint unions*.**

**Proposition n° 6 : Définir une stratégie industrielle en matière de microélectronique qui présente des objectifs explicites, et dont les ressources sont proportionnées (i) aux capacités actuelles des acteurs économiques (ii) au poids et au besoin de la filière au niveau européen.**

**Par conséquent, pour de futurs plans de soutien, cibler certains segments d'intervention et adapter les politiques publiques à la position européenne sur ce segment :**

- ◆ pour les composants analogiques et de puissance, l'objectif d'une politique de soutien est de rester à la frontière technologique et implique principalement des subventions à la R&D, sans que le soutien au capacitaire ne soit particulièrement justifié ;
- ◆ pour les composants matures, l'objectif européen pourrait être de développer les capacités de production, comme cela a déjà été le cas dans le *Chips Act*. Pour éviter une course aux subventions, les investissements capacitaires qui y sont associés doivent être décidés et apportés au niveau européen, après coordination des différents acteurs ;
- ◆ pour les composants logiques spécifiques à l'IA, l'objectif serait d'effectuer un rattrapage technologique en matière de conception, ce qui implique à la fois (i) une politique de soutien à la R&D, par exemple dans le cadre d'un PIIEC (ii) de mobiliser d'autres outils, à l'instar de la politique commerciale ou de contrôle des investissements étrangers afin de protéger les acteurs pénétrant ce marché.

## Rapport

**Tableau 8 : Principales politiques publiques mises en place aux Etats-Unis, en Chine et en Europe ayant une visée de souveraineté**

Pays	Frontière technologique			Prévention/mitigation du décrochage			Rattrapage technologique		
	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale
États-Unis	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Design</li> <li>▪ Logiciels d'assistance à la conception</li> <li>▪ Équipements (hors photolithographie)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fonderie (Intel)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fonderie</li> <li>▪ Back end avancé</li> <li>▪ Non adressé par les politiques américaines : machines de photolithographies</li> </ul>		
	<i>Chips Act (subventions R&amp;D)</i>	Existence de clusters académico-industriels	Export de produits finis (Apple, Nvidia etc.)	Chips Act (subventions R&D)	Soutien des industries stratégiques en difficulté (prêt, subventions à Intel)(Chips Act) ;	Protection des industries américaines (NDAA, FDPR, Chips Act)	Chips Act (subventions R&D)	Subventions et prêts aux des entreprises spécialisées étrangères (fonderies) (Chips Act).	Protection des industries américaines vis-à-vis de le concurrence chinoise (NDAA, FDPR, Chips Act)
Chine	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conception et production de composants matures</li> <li>▪ Composants de puissance</li> <li>▪ Back end</li> </ul>			Non concerné			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Machines de photolithographie</li> <li>▪ Fonderie</li> <li>▪ Logiciels d'assistance à la conception</li> <li>▪ Équipements</li> </ul>		
	Non disponible (N.D.)	N.D.	Export de produits finis (Huawei, BYD), et de composants électroniques manufacturés (back end)	Non concerné			Recherche sur des technologies ciblées (équipement de lithographie, EDA)	Soutien des industries stratégiques (prêt, subventions dans le cadre des <i>big funds</i> ) ; attraction des entreprises spécialisées étrangères.	Protection des industries chinoises, préférence nationale des industries aval, mesures de rétorsion vis-à-vis des Etats-Unis

## Rapport

Pays	Frontière technologique			Prévention/mitigation du décrochage			Rattrapage technologique		
	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale
Europe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Machines de photolithographies EUV</li> <li>▪ Conception et production de composants matures</li> <li>▪ Composants de puissance</li> <li>▪ Composants analogiques</li> <li>▪ Technologies spécifiques (substrats, FDSOI).</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Composants de puissance et composants matures (concurrence chinoise)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fonderie (rattrapage partiel, projets TSMC et Intel en Allemagne).</li> <li>▪ Non adressé par les politiques européennes : design, logiciels d'assistance à la conception, équipements hors lithographie.</li> </ul>		
	Prêt et subventions : PIIEC 1 et 2 (dont programme Nano).	Synergie entre les écosystèmes académico industriels, PIIEC 1 et 2 ; programme Liberty <sup>33</sup>	Export de machines de lithographie (hors Chine) et de composants électroniques.	Prêt et subventions : PIIEC 1 et 2 (dont programme Nano),	Limité et indirect : prêts et subventions, PIIEC 1 et 2 (exemple XFAB)	Limité	Limité	Partie capacitaire du Chips Act (notamment projets allemands reportés)	Limité <sup>34</sup>

Source : Mission.

**Note de lecture :** Pour chaque zone géographique (en ligne), le tableau indique en colonne le niveau de développement par technologie, et les principales politiques publiques développées en fonction de la finalité : maintien à la frontière technologique, prévention/mitigation du décrochage, rattrapage technologique. Les politiques publiques indiquées dans le tableau sont celles qui ciblent directement le domaine de l'électronique : ainsi, le CIR n'est pas indiqué dans la case R&D pour l'Europe.

<sup>33</sup> La programme Liberty constitue une singularité dans le tableau, dans la mesure où il s'agit à la fois d'un projet capacitaire sur une technologie déjà présente en Europe (technologie FD-SOI 22nm), et d'un projet de R&D qui doit permettre le développement de composants à la frontière technologique (FD-SOI 18nm et recherche sur le FD-SOI 10nm)..

<sup>34</sup> Si certains instruments de politique commerciale commencent à être mis en place (instruments anti-subsidies par exemple), ils apparaissent d'ampleur limitée par rapport aux politiques commerciales agressives développées par les Etats-Unis et la Chine.

# **ANNEXES ET PIÈCES JOINTES**

# **LISTE DES ANNEXES ET DES PIÈCES JOINTES**

- ANNEXE I :** LE PROGRAMME NANO 2022 : OBJECTIFS, FONCTIONNEMENT, ARTICULATION AVEC LES INITIATIVES EUROPÉENNES
- ANNEXE II :** HISTORIQUE DES PROGRAMMES NANO ET DE LEURS ÉVALUATIONS
- ANNEXE III :** PANORAMA SECTORIEL
- ANNEXE IV :** ANALYSE DESCRIPTIVE ET CAUSALE DE L'ACTIVITÉ DES BÉNÉFICIAIRES, ET PRINCIPAUX RÉSULTATS DU PROGRAMME NANO 2022
- ANNEXE V :** INDÉPENDANCE ET SOUVERAINETÉ TECHNOLOGIQUE DANS LE DOMAINE DE L'ÉLECTRONIQUE
- ANNEXE VI :** PARANGONNAGE INTERNATIONAL
- ANNEXE VII :** MÉTHODOLOGIE DU CONTRÔLE SYNTHÉTIQUE POUR L'ÉVALUATION DU PROGRAMME NANO 2022
- ANNEXE VIII :** LISTE DES PERSONNES RENCONTRÉES
- PIÈCE JOINTE N°1 :** LETTRE DE MISSION
- PIÈCE JOINTE N°2 :** FICHE RELATIVE À L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES SEMICONDUCTEURS (« TAMIS VERT »)

## **ANNEXE I**

**Le programme Nano 2022 : objectifs,  
fonctionnement, articulation avec les  
initiatives européennes**

# SOMMAIRE

<b>1. LE PROGRAMME NANO 2022 REGROUPE DES FINANCEMENTS PUBLICS FRANÇAIS ET EUROPEENS ACCORDES A SIX GRANDS ACTEURS INDUSTRIELS, UN RESEAU D'ENTREPRISES PARTENAIRES ET DES ACTEURS ACADEMIQUES DE LA FILIERE DES SEMI-CONDUCTEURS.....</b>	<b>1</b>
1.1. Le programme Nano 2022, héritier de cinq décennies de soutien public à la recherche industrielle dans le domaine des semi-conducteurs, bénéficie à l'ensemble des producteurs qui ont une activité en France.....	1
1.1.1. <i>Les précédents programmes, axés sur la miniaturisation des puces, ont continuellement soutenu le laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA-Leti) et l'entreprise STMicroelectronics .....</i>	<i>1</i>
1.1.2. <i>Le programme Nano 2022 comporte six chefs de file industriels et élargit le soutien à tous les acteurs économiques de la filière.....</i>	<i>3</i>
1.2. Le programme Nano 2022, inscrit dans le premier projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) microélectronique, est le premier programme à intégrer des aides pour le premier déploiement industriel .....	6
1.2.1. <i>Les PIIEC représentent une dérogation à l'encadrement européen des aides d'État qui permet de soutenir des projets industriels au-delà de la R&amp;D.....</i>	<i>6</i>
1.2.2. <i>Le premier PIIEC microélectronique, qui réunissait l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni, l'Italie et l'Autriche pour la période 2018-2022, visait à coordonner les efforts autour de cinq thèmes techniques au-delà de la course à la miniaturisation.....</i>	<i>9</i>
1.3. Le programme Nano 2022 soutient des projets de développement « <i>More than Moore</i> », qui visent à diversifier les usages des puces microélectroniques .....	13
1.4. Le programme a conduit à des avancées techniques qui ont été, pour plusieurs, poursuivies et amplifiées jusqu'à la réalisation de lignes de production.....	14
1.4.1. <i>Le premier thème technique, qui porte sur les puces écoénergétiques, mené par STMicroelectronics, Soitec et X-FAB a atteint totalement ou partiellement 14 des 15 jalons techniques visés .....</i>	<i>14</i>
1.4.2. <i>Le projet sur les composants de puissance, porté par Murata Integrated Passive Solutions, a atteint la quasi-totalité de ses objectifs .....</i>	<i>20</i>
1.4.3. <i>Le projet conduit par LYNRED au sein du thème technique sur les capteurs intelligents a atteint deux tiers de ses objectifs, suite à des difficultés dans le développement de systèmes thermiques intelligents.....</i>	<i>22</i>
1.4.4. <i>Les projets du cinquième thème technique sur les matériaux composites ont des niveaux d'avancement plus limités.....</i>	<i>25</i>
<b>2. LE PROGRAMME NANO 2022, MALGRE SES MULTIPLES SOURCES DE FINANCEMENT ET SES TRES NOMBREUSES PARTIES PRENANTES, A UN PILOTAGE EFFECTIF CENTRALISE PAR LA DGE.....</b>	<b>27</b>
2.1. Doté de plus d'un milliard d'euros d'argent public, le programme Nano 2022 fait l'objet de sources diverses de financement et d'un circuit financier complexe..	27
2.1.1. <i>Le financement de l'État provient de quatre sources et résulte de cinq circuits différents.....</i>	<i>27</i>
2.1.2. <i>Le financement des collectivités territoriales s'élève à 74,5 M€, dont 62,1 M€ destiné au CEA-Leti.....</i>	<i>33</i>

2.1.3.	<i>Les financements européens, obtenus dans le cadre de l'entreprise commune (joint union undertaking) ECSEL, s'élèvent à 113 M€, soit 117 M€ de moins que prévu initialement.....</i>	33
2.2.	La gouvernance du programme Nano 2022, qui semble complexe et étendue, est centralisée par la DGE .....	35
2.2.1.	<i>La conception du programme et la sélection des acteurs et projets aidés ont été menées par la DGE, selon un principe de gré-à-gré après dialogue.....</i>	35
2.2.2.	<i>Le suivi du programme, fondé sur une comitologie complexe, s'est déroulée en pratique sous le quasi-monopole de la DGE.....</i>	36
<b>3.</b>	<b>LE SOUTIEN PUBLIC FRANÇAIS ET EUROPEEN ACCORDE A L'INDUSTRIE DES SEMI-CONDUCTEURS A CONTINUE APRES LA FIN DU PROGRAMME NANO 2022 EN DECEMBRE 2022 .....</b>	<b>38</b>
3.1.	Les initiatives européennes ont changé d'échelle depuis le début de l'année 2023, dans un contexte international dynamique de soutien public aux entreprises de la filière.....	38
3.1.1.	<i>Le second PIIEC microélectronique, validé par la commission européenne le 8 juin 2023, élargit le nombre de pays et d'entreprises partenaires, et triple le financement public accordé au secteur .....</i>	38
3.1.2.	<i>Le règlement européen sur les semi-conducteurs, dit « Chips act », entré en vigueur le 21 septembre 2023, autorise les financements publics dédiés au renforcement des capacités de production en Europe et introduit des exigences de sécurisation de la production destinée au marché commun</i>	42
3.2.	La stratégie d'accélération électronique de France 2030 dédie une enveloppe totale de 4,8 Md€ à la filière des semi-conducteurs .....	47
3.2.1.	<i>Le plan France 2030 poursuit le soutien à la filière avec des financements accordés selon le principe du gré-à-gré, mais avec des objectifs initiaux clairement établis et une gouvernance simplifiée.....</i>	47
3.2.2.	<i>Les projets financés par la SA électronique prolongent le soutien aux technologies portées par le programme Nano 2022.....</i>	48

## **1. Le programme Nano 2022 regroupe des financements publics français et européens accordés à six grands acteurs industriels, un réseau d'entreprises partenaires et des acteurs académiques de la filière des semi-conducteurs**

### **1.1. Le programme Nano 2022, héritier de cinq décennies de soutien public à la recherche industrielle dans le domaine des semi-conducteurs, bénéficie à l'ensemble des producteurs qui ont une activité en France**

#### **1.1.1. Les précédents programmes, axés sur la miniaturisation des puces, ont continuellement soutenu le laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA-Leti) et l'entreprise STMicroelectronics**

Quatre programmes « Nano » de soutien à la recherche industrielle sur les semi-conducteurs ont existé depuis 2002, et regroupent des cycles pluriannuels de soutien :

- ◆ Nano 2008 (2002-2007) a accompagné les activités de design et de production des plaquettes de 300 mm de diamètre ;
- ◆ Nano 2012 (2008-2012) consistait à poursuivre les efforts de miniaturisation des puces (de 32 nm et 22 nm) et à favoriser le développement d'applications spécifiques pour les puces (mémoires embarquées et imageurs) ;
- ◆ Nano 2017 (2013-2017) a soutenu la maturation de la technologie FD-SOI<sup>1</sup> et son application aux puces miniaturisées (14 nm) ;
- ◆ Nano 2022 (2018-2022), déclinaison de la stratégie européenne sur la microélectronique, rompt avec la course à la miniaturisation en concentrant les efforts sur l'élargissement des fonctionnalités des puces grâce à des matériaux et design innovants.

**Les trois premiers programmes Nano ont principalement soutenu des projets situés dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, et plus particulièrement sur les sites de Grenoble et Crolles.** Ils ont systématiquement soutenu le laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA-Leti) et STMicroelectronics, bénéficiaires de la quasi-intégralité des aides publiques des programmes. Les programmes Nano 2008, 2012 et 2017 et leurs évaluations finales sont présentés plus en détails en annexe II du présent rapport.

**Le CEA est un organisme de recherche scientifique français dans les domaines de l'énergie, de la défense, des technologies de l'information et de la communication, des sciences de la matière, des sciences de la vie et de la santé,** qui a le statut d'établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). Il a pour mission principale de développer les applications de l'énergie nucléaire dans les domaines scientifique, industriel, et de la défense nationale.

---

<sup>1</sup> Le FD-SOI, pour *fully depleted on silicon-on-insulator*, repose sur l'ajout d'une fine couche d'oxyde de silicium isolant (non dopé) à l'architecture classique des transistors, ce qui améliore le rapport entre la vitesse et la consommation d'énergie, et rend modulable le fonctionnement de la puce en fonction de la tension appliquée à ses bornes, la rendant soit très rapide, soit très économe en énergie.

## Annexe I

Le CEA-Leti est un institut de recherche de la direction de la recherche technologique du CEA (le CEA Tech). Les travaux de recherche qui y sont effectués portent sur les micro et nanotechnologies pour la microélectronique ainsi que pour la biologie et la santé, la conception et l'intégration des microsystèmes, l'imagerie pour la médecine et la sécurité et les technologies de communication pour l'internet des objets (IoT). Il est basé à Grenoble, et dispose de bureaux aux États-Unis (San Francisco), en Belgique (Bruxelles) et au Japon (Tokyo). Il emploie 2 000 personnes, principalement sur son site français. Le CEA-Leti est doté de plateformes de recherche et de lignes pilotes, dont 11 000 mètres carrés de salle blanche.

L'activité scientifique du CEA-Leti est réalisée dans un contexte académique classique ou en partenariat avec le secteur privé. En 2023, on dénombre :

- ◆ 560 publications scientifiques par an en moyenne sur les cinq années précédentes ;
- ◆ 3 200 brevets au portefeuille, et environ 300 nouveaux par an ;
- ◆ 250 accords industriels actifs ;
- ◆ 78 start-ups dérivées de l'activité du CEA-Leti depuis 1973, dont 80 % toujours en activité.

**En 2023, le CEA-Leti faisait partie des cinq plus gros déposants mondiaux de brevets dédiés aux semi-conducteurs, et le premier européen.**

Sur la période du programme Nano 2022 (2018-2022) les dépenses du CEA-Leti sont restées stables autour de ██████ par an. Elles sont en augmentation depuis 2022, et s'établissent à ██████ en 2024, portées par les dépenses d'investissements du projet NextGen de France 2030 (cf. 3.2). **Les recettes du CEA-Leti sont composées d'une dotation récurrente du CEA pour environ 20 %, de contrats industriels pour 40 % et de contrats publics de recherche pour 40 % (dont les programmes Nano).**

Le CEA-Leti fait partie de l'écosystème grenoblois des semi-conducteurs : il est membre fondateur de l'institut de recherche technologique (IRT) Nanoelec et participe au pôle de compétitivité Minalogic<sup>2</sup>.

Le CEA-Leti est membre du réseau des instituts Carnot<sup>3</sup> depuis 2006.

**STMicroelectronics est une entreprise multinationale franco-italienne de droit néerlandais spécialisée dans les semi-conducteurs.** Elle est un « *Integrated Device Manufacturer* » (*IDM*) : son activité porte sur l'ensemble de la chaîne de valeur des semi-conducteurs, de la conception des puces à leur production, leur packaging et leur commercialisation. Elle diffère donc des entreprises « *fabless* », qui ne font que la conception des puces (comme Nvidia, Qualcomm et Broadcom), et des fonderies qui n'assurent que leur production (comme TSMC et Globalfoundries).

STMicroelectronics est née en 1987 de la fusion entre l'entreprise française Thomson semiconducteurs et l'italienne SGS. En 1982, Thomson semiconducteurs avait absorbé la filiale du CEA « étude et fabrication de circuits intégrés spéciaux ».

L'État italien et Bpifrance sont les principaux actionnaires de STMicroelectronics, dont ils détiennent 27,5 % du capital, à parts égales via une holding. Le reste de son capital est public et réparti entre les bourses de New York, Paris et Milan.

---

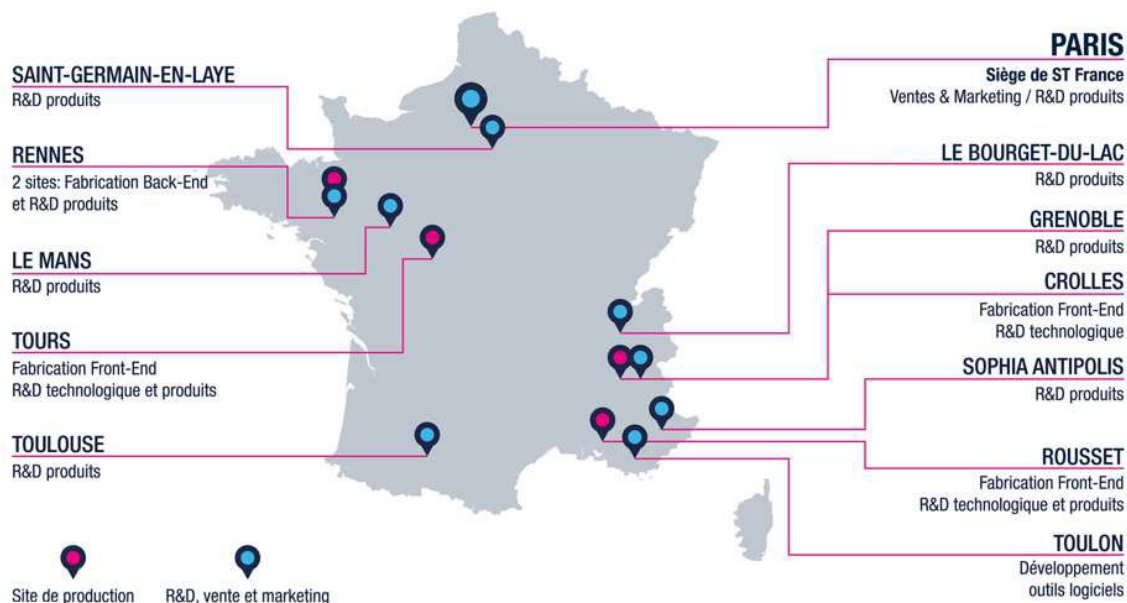
<sup>2</sup> Minalogic est un pôle de compétitivité autour du numérique situé en Auvergne-Rhône-Alpes. Implanté sur trois sites à Grenoble, Lyon et Saint-Etienne, il réunit entreprises, centres de recherche, chambres de commerce et d'industrie et collectivités territoriales afin d'accompagner les projets de développement et de rayonnement des acteurs de la filière numérique.

<sup>3</sup> Les instituts Carnot sont des structures de recherche publique labellisées par le ministère chargé de la recherche pour leur compétence à mener des projets de recherche partenariale avec des entreprises. A la date de la mission, il y a 39 instituts labellisés en France, qui représentent 55 % de la recherche et développement (R&D) financée par des entreprises à la recherche publique française.

## Annexe I

L'entreprise détient quatorze sites de production dans le monde, dont quatre en France (cf. figure 1), et emploie près de 50 000 personnes (dont 12 000 en France, soit 24 %), dont 9 000 en R&D (dont 3 300 en France, soit 37 %). Son chiffre d'affaires (CA) s'élève à 16 Md€ en 2023, dont 13,5 % sont réinvestis dans la R&D.

Figure 1 : Activités des sites de STMicroelectronics en France



Source : STMicroelectronics.

Les usines françaises de STMicroelectronics fabriquent des puces miniaturisées à une échelle de 28 nm sur des plaquettes de silicium d'un diamètre allant jusqu'à 300 mm. La production de puces de 22 nm est sous-traitée à l'usine de GlobalFoundries située à Dresde. STMicroelectronics se positionne sur quatre segments d'usage des puces électroniques :

- ◆ les véhicules électriques et les véhicules autonomes (41 % du CA) ;
- ◆ les usages industriels (traitement embarqué, pour 30 % du CA) ;
- ◆ les applications pour smartphones, écouteurs, consoles de jeux (19 % du CA) ;
- ◆ la connectivité et la communication (10 % du CA).

En 2023, les dix principaux clients de STMicroelectronics qui représentent 42 % du chiffre d'affaires, sont établis hors de France. Il s'agit :

- ◆ des fabricants de produits numériques et de logiciels Apple, HP et Huawei ;
- ◆ des équipementiers automobile Bosch et Continental ;
- ◆ des constructeurs automobile Hyundai Motor et Tesla ;
- ◆ du fabricant de produits électroniques grand public Samsung ;
- ◆ de l'entreprise aéronautique SpaceX ;
- ◆ et du fabricant de systèmes anticollision et d'assistance à la conduite Mobileye.

### 1.1.2. Le programme Nano 2022 comporte six chefs de file industriels et élargit le soutien à tous les acteurs économiques de la filière

STMicroelectronics est à nouveau chef de file du programme Nano 2022, aux côtés de cinq autres chefs de file industriels.

## Annexe I

**Soitec est une entreprise française créée en 1992 par deux ingénieurs du CEA-Leti pour commercialiser les substrats « silicon-on-insulator » (SOI) et d'autres substrats pour les semi-conducteurs.**

L'entreprise se place en amont de la chaîne de valeur : le dépôt de substrat sur la plaquette est réalisé après la production de la plaquette en silicium (par des entreprises établies hors de France) et avant la gravure des puces réalisée en fonderie (cf. annexe III).

Les utilisations finales des substrats déposés par Soitec sont, par ordre décroissant de volume de ventes en 2023 :

- ◆ les communications mobiles ;
- ◆ l'automobile ;
- ◆ l'internet des objets et les smartphones.

La technologie SOI est en concurrence directe avec la technologie FinFET, qui représente 96 % du marché mondial (cf. annexe III).

Les trois principaux actionnaires de Soitec sont, par ordre d'importance, la société de gestion de placements écossaise Baillie Gifford & Co, Bpifrance et le CEA investissement. En 2023, l'entreprise a un chiffre d'affaires de 1Md€, dont 14 % réinvestis dans la R&D. Son bénéfice avant intérêts, impôts, dépréciation et amortissement (EBITDA) s'est établi à 340 M€, soit 34 % du CA. L'entreprise emploie un peu plus de 2 300 personnes, dont 250 chercheurs au sein du département R&D. Soitec est cotée à la bourse de Paris.

Soitec fait partie de l'écosystème grenoblois des semi-conducteurs. Les trois usines de production de l'entreprise sont situées à Bernin en Isère, qui constitue le plus grand site industriel de production de plaques de SOI au monde. Soitec a aussi implanté une ligne pilote à Singapour et un site de production pour un substrat non-silicium, le nitrure de gallium (GaN) en Belgique. En complément, l'entreprise a des bureaux commerciaux et de support client en Californie, à Taiwan, en Corée, au Japon et en Chine.

L'entreprise n'était pas cheffe de file du programme Nano 2017, mais avait été aidée indirectement par ce programme dans le cadre de sa collaboration dans un projet porté par STMicroelectronics.

**LYNRED est une entreprise de taille intermédiaire (ETI) d'un peu moins de 1 000 salariés, née de la fusion entre Sofradir et ULIS en 2019.** L'entreprise est une filiale à parts égales de Thalès et Safran. Elle a deux types de productions :

- ◆ les micro-bolomètres, qui sont des détecteurs infrarouge à haute résolution ne nécessitant pas de refroidissement (200 000 pièces par an) ;
- ◆ les détecteurs hybrides qui fonctionnent à basse température et dont les applications sont militaires (6 000 pièces par an).

Les clients finaux sont des fabricants de caméras, des équipementiers automobiles et des systémiers intégrateurs de l'industrie de défense. Ses produits sont classés matériels de guerre ou biens à double usage : leurs exportations sont respectivement soumises à autorisation de la DGA et du service des biens à double usage (SBDU) des ministères économiques et financiers (MEF).

LYNRED a deux sites en France :

- ◆ à Veurey-Voroize en région grenobloise pour la production et la R&D des bolomètres ;
- ◆ à Palaiseau en région parisienne pour la R&D des détecteurs hybrides.

## Annexe I

Elle a aussi deux filiales internationales de distribution, de prospection commerciale et de support client situées aux États-Unis (20 salariés) et à Singapour (2 salariés). En 2023, le chiffre d'affaires de l'entreprise était de 230 M€, dont 15 % ont été réinvestis en R&D. LYNRED n'est pas cotée en bourse.

**Murata Integrated Passive Solutions est une filiale du groupe japonais Murata Manufacturing qui est spécialisée dans le développement et la production de composants électroniques passifs<sup>4</sup> intégrant des matériaux semiconducteurs.** Murata Integrated Passive Solutions est issue du rachat en 2016 de l'entreprise française IPDiA fondée en 2009. Elle emploie 250 personnes sur son site unique de Caen, pour un volume de ventes de 70 M€ en 2024<sup>5</sup>. Les produits développés par Murata Integrated Passive Solutions sont utilisés dans les dispositifs médicaux implantables, les modules optiques utilisés pour la communication et les composants de puissance pour les véhicules électriques. La filiale a inauguré en octobre 2024 une nouvelle ligne de production de condensateurs en silicium sur son site normand, qui a nécessité un investissement de 60 M€ intégralement financé sur les fonds propres du groupe. Au niveau mondial, le groupe Murata Manufacturing a réalisé un chiffre d'affaires de 15 Md€ en 2024<sup>6</sup>.

**X-FAB France est la filiale française du groupe belge X-FAB, créée en 2016 par le rachat de la filiale française d'Altis Semiconductor.** X-FAB est une fonderie, qui met à disposition un portefeuille de technologies pour produire les puces conçues par ses clients. L'entreprise a six sites de production : trois en Allemagne, un en France à Corbeil-Essonnes, un aux États-Unis et un en Malaisie. Elle emploie 4 500 personnes (dont 1 100 en France) et a réalisé un chiffre d'affaires de 907 M€ en 2023. X-FAB produit des puces de 110, 130 et 180 nm sur des plaquettes de 200 mm. **Ces puces sont utilisées dans les véhicules autonomes et les voitures électriques : le secteur automobile représente 84 % du chiffre d'affaires de l'entreprise en 2023.**

**United Monolithic Semiconductors (UMS) est une ETI présente en France depuis 1996 sous la forme de UMS SAS et en Allemagne sous la forme de UMS GmbH.** UMS est spécialisé dans les circuits intégrés monolithiques hyperfréquences<sup>7</sup> à partir de matériaux semi-conducteurs composites. Elle dispose de ses propres capacités de fonderie, mises à la disposition d'acteurs externes qui conçoivent des puces à partir des matériaux composites développés par UMS. **L'entreprise sert principalement le secteur de la défense et du spatial.** Sa filiale française a réalisé 72 M€ de chiffre d'affaires en 2023, et emploie entre 200 et 250 salariés en 2022.

---

<sup>4</sup> Les composants électroniques passifs sont des condensateurs, transformateurs, résistances ou inductances qui sont utilisés pour stocker, filtrer ou réguler le courant électriques. Ils sont emballés avec des composants électroniques dits « actifs », qui sont capables d'amplifier ou de moduler un signal électrique (comme les capteurs ou les diodes).

<sup>5</sup> Pour l'exercice budgétaire achevé le 31 mars 2024.

<sup>6</sup> Pour l'exercice budgétaire achevé le 31 mars 2024.

<sup>7</sup> Un circuit intégré monolithique hyperfréquence fonctionne aux fréquences radio intermédiaires entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion dites « micro-ondes ». Il intègre des fonctions d'amplification des ondes micro-ondes, de commutation et de mélange sur un seul substrat semi-conducteur. Ils sont utilisés pour les technologies de la communication, et sont plus fiables et plus petits que les composants conventionnels.

## Annexe I

Les six chefs de file industriels du programme Nano 2022 sont les principaux producteurs de semi-conducteurs : ils représentent 73 % de la production française. Les 27 % restants sont produits par des entreprises dont ce n'est pas l'activité principale. Ainsi, le programme Nano 2022 a aidé l'intégralité des producteurs de semi-conducteurs spécialisés dans cette activité. L'activité économique des acteurs aidés et leur place dans l'industrie manufacturière française est détaillée dans l'annexe IV.

### 1.2. Le programme Nano 2022, inscrit dans le premier projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) microélectronique, est le premier programme à intégrer des aides pour le premier déploiement industriel

#### 1.2.1. Les PIIEC représentent une dérogation à l'encadrement européen des aides d'État qui permet de soutenir des projets industriels au-delà de la R&D

Le programme Nano 2022 est constitué d'aides d'État, dont les modalités sont encadrées par la réglementation européenne. Les articles 106, 107 et 108 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) encadrent le recours aux aides d'État par les pays membres. Hors dérogation prévue par le traité, **les aides d'État qui faussent ou qui menacent de fausser la concurrence sont considérées comme incompatibles avec le marché intérieur**. Ainsi, dans le cas général, les aides à l'industrialisation sont interdites.

Cet encadrement strict est assorti d'exceptions prévues par l'article 107 :

- ◆ les aides à caractère social octroyées aux consommateurs individuels, les aides destinées à remédier aux dommages causés par des catastrophes naturelles ou des événements exceptionnels et les aides octroyées à l'économie de l'ex-république démocratique d'Allemagne (RDA) sont considérées compatibles avec le marché intérieur ;
- ◆ les aides destinées aux régions dans lesquelles le niveau de vie ou le taux d'emploi est anormalement bas et aux régions ultrapériphériques<sup>8</sup>, **les aides destinées à la réalisation d'un PIIEC** ou à remédier à une perturbation grave de l'économie d'un État membre, les aides destinées au développement de certaines activités ou régions économiques ou destinées à promouvoir la culture et la conservation du patrimoine quand elles n'altèrent pas les conditions des échanges et de la concurrence **peuvent être considérées comme compatibles avec le marché intérieur** ;
- ◆ la Commission européenne, par décision du Conseil de l'UE, peut aussi proposer d'autres catégories d'aides pouvant être considérées comme compatibles avec le marché intérieur.

L'article 108 du TFUE stipule que la commission procède à l'examen permanent des régimes d'aides existant dans les États membres. **L'examen de toute création ou modification d'une aide d'État est réalisée avant la mise en place de l'aide, à l'exception de certaines aides**. Le Conseil de l'UE détermine la liste des aides qui ne nécessitent pas une validation ex-ante, qui sont établies dans un règlement adopté par la commission européenne. La version en vigueur est le règlement n°651/2014 déclarant certaines catégories d'aides compatibles avec le marché intérieur en application des articles 107 et 108 du traité, dit « *règlement général d'exemption par catégorie* » (RGEC).

---

<sup>8</sup> Les régions ultrapériphériques (RUP) bénéficient d'un statut particulier reconnu par l'article 349 du TFUE. La Guyane, la Guadeloupe, Saint-Martin, la Martinique, La Réunion, Mayotte, les Canaries, les Açores et Madère bénéficient du statut de régions ultrapériphériques.

## Annexe I

Enfin, l'article 106 du TFUE stipule que les règles concernant les aides d'État s'appliquent aussi aux entreprises publiques et aux entreprises auxquelles les États membres accordent des droits spéciaux ou exclusifs. Les « *entreprises chargées de la gestion de services d'intérêt économique général ou présentant le caractère d'un monopole fiscal* » sont soumises aux mêmes règles, dans les limites où leur application ne fait pas échec à la réalisation de leur mission.

Le programme Nano 2022 relève de deux dispositions de cet encadrement réglementaire :

- ◆ le programme est inscrit dans le PIIEC microélectronique, validé par la commission européenne en 2018, ce qui permet d'assurer la compatibilité des aides octroyées à des projets de premier déploiement industriel ;
- ◆ en dehors des travaux prévus par le PIIEC, des projets complémentaires bénéficient du régime d'exemption de notification prévu par le RGEC, qui porte notamment sur :
  - la recherche fondamentale ;
  - la recherche industrielle ;
  - le développement expérimental ;
  - les études de faisabilité ;
  - les aides à l'établissement d'infrastructure de recherche ;
  - les aides en faveur des pôles d'innovation ;
  - les aides à l'innovation en faveur des PME ;
  - les aides à l'innovation de procédé et d'organisation.

**Les PIIEC sont des instruments de soutien à l'innovation qui permettent aux États membres de financer des projets au-delà des règles habituellement permises par la réglementation européenne, pour certains secteurs spécifiques.** L'objectif est de renforcer la politique industrielle de l'Union européenne en regroupant les compétences, les savoir-faire et les ressources financières des acteurs européens tout en préservant une concurrence saine sur le marché unique. Un PIIEC doit associer plusieurs États membres. En pratique, les États membres intéressés proposent des objectifs technologiques et industriels communs à l'échelle de l'UE dans un document nommé « chapeau », qui sont ensuite validés par la commission européenne (CE). Ces objectifs donnent lieu à la conception de projets réunissant des acteurs publics et privés qui sont déposés pour instruction à la CE. Les critères de sélection, en vigueur lors de la conception du programme Nano 2022, sont décrits dans une communication de la CE datant de 2014<sup>9</sup>. Les projets doivent :

- ◆ contribuer de manière concrète à un ou plusieurs objectifs de l'Union européenne ;
- ◆ démontrer l'existence d'une défaillance de marché qui exige une intervention financière publique ;
- ◆ entraîner des retombées systémiques qui vont au-delà de l'impact économique direct sur le secteur aidé ;
- ◆ le premier déploiement industriel doit porter sur des produits réellement innovants, et ne pas consister en des améliorations incrémentales d'un produit ou d'un mode de production existant.

Les PIIEC ne sont pas assortis de financements de la commission européenne : chaque pays détermine le montant d'aides d'État qu'il souhaite dédier au PIIEC sur son budget national. La part de financement public est calibrée de manière à ramener à l'équilibre la valeur actualisée nette<sup>10</sup> du projet.

---

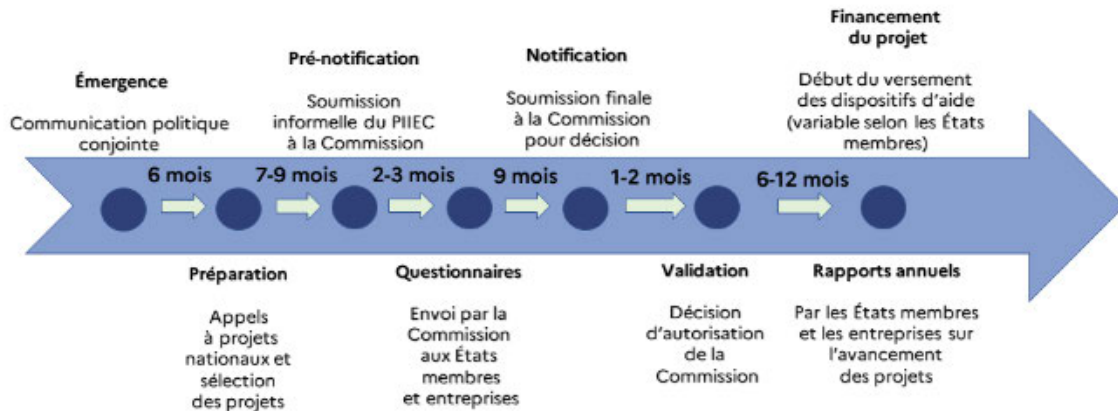
<sup>9</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014XC0620\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014XC0620(01))

<sup>10</sup> La valeur actuelle nette (VAN) est un indicateur financier qui peut être utilisé pour apprécier la rentabilité d'un investissement. Il se calcule comme la somme des flux de trésorerie futurs, chacun étant actualisé de façon à réduire

## Annexe I

Le PIIEC microélectronique de 2018 est le premier PIIEC validé par la commission européenne. Depuis, il y a eu dix PIIEC notifiés par la commission européenne sur des thématiques diverses : la microélectronique, les batteries, l'hydrogène, l'informatique en nuage, et le développement de médicaments. La France participe à tous les PIIEC, comme l'Allemagne et l'Italie. Le processus de conception d'un PIIEC démarre par une communication politique conjointe réalisée par l'Union européenne, qui lance les travaux. Il peut s'écouler deux ans et demi jusqu'à la validation de la commission, et entre six mois et un an supplémentaire jusqu'au début du versement des dispositifs d'aide par les États membres (cf. figure 2).

Figure 2 : Déroulement d'un PIIEC



Source : DGE

En novembre 2021, la commission européenne constatait qu'il « convient notamment d'accroître davantage l'ouverture des PIIEC, de faciliter la participation des PME et de préciser les critères applicables à la mise en commun des fonds provenant des budgets nationaux et des programmes de l'UE »<sup>11</sup> Cette déclaration a conduit à l'édition d'une nouvelle communication de la commission au sujet des critères de sélection des PIIEC, datant du 30 décembre 2021<sup>12</sup> et toujours en vigueur à la date de la rédaction de ce rapport. Les principales évolutions sont :

- ◆ les projets d'infrastructure dans les secteurs de l'environnement, l'énergie, les transports, la santé ou le numérique sont éligibles ;
- ◆ la capacité d'un projet à remédier à une dépendance stratégique importante et clairement définie est un nouveau critère d'appréciation positif, ainsi que l'association de PME et de jeunes pousses ;
- ◆ la notion de premier déploiement industriel est clarifiée : le FID porte sur le passage à une plus grande échelle d'installation pilotes et exclut la production de masse et les activités commerciales (hormis les ventes limitées liées à la phase d'essai) ;
- ◆ le projet doit apporter la preuve qu'il respecte le principe consistant à « ne pas causer de préjudice important » au sens de l'article 17 du règlement 2020/852<sup>13</sup>, notamment concernant son impact environnemental ;

---

son importance dans cette somme à mesure de son éloignement dans le temps. Le taux d'actualisation retenu est le coût moyen pondéré du capital, c'est-à-dire le taux de rentabilité annuel moyen attendu par les actionnaires et les créanciers.

<sup>11</sup> Communication de la commission au parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions : une politique de concurrence adaptée aux nouveaux défis, novembre 2021.

<sup>12</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=PL\\_COM:C\(2021\)8481](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=PL_COM:C(2021)8481)

<sup>13</sup> Règlement (UE) 2020/852 du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2020 sur l'établissement d'un cadre visant à favoriser les investissements durables.

## Annexe I

- ◆ la commission peut imposer à l'État membre de mettre en place un mécanisme de récupération lorsque le projet est plus rentable que ce qui a été prévu.

Le PIIEC « microélectronique et connectivité » (PIIEC ME-CT), le second du secteur des semi-conducteurs, a été validé en juin 2023 selon les critères de la communication de 2021.

### 1.2.2. Le premier PIIEC microélectronique, qui réunissait l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni, l'Italie et l'Autriche pour la période 2018-2022, visait à coordonner les efforts autour de cinq thèmes techniques au-delà de la course à la miniaturisation

Le programme Nano 2022 décline et prolonge les travaux prévus dans le cadre du **PIIEC microélectronique validé le 13 décembre 2018 par la Commission européenne**<sup>14</sup>. Ce PIIEC est articulé autour de cinq thèmes techniques différents qui concernent l'ensemble de la chaîne de valeur :

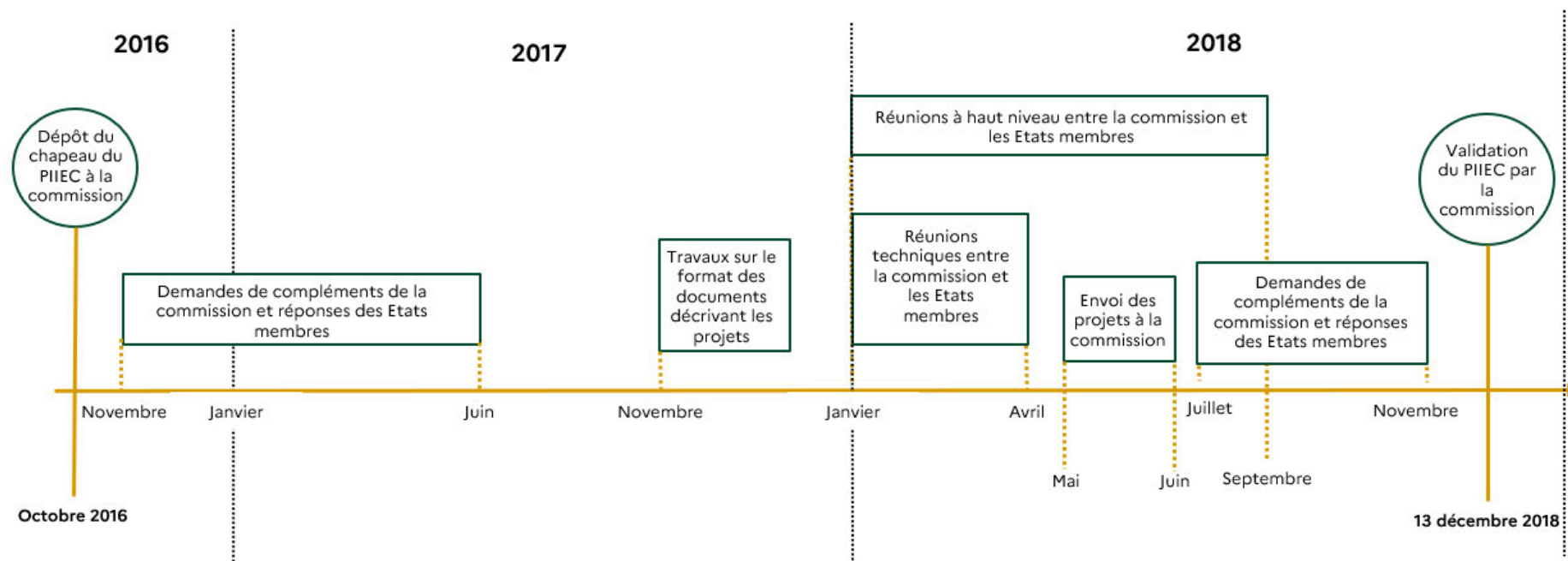
- ◆ les puces écoénergétiques (*energy efficient chips*) exploitant la technologie FD-SOI (cf. annexe III), à destination de l'automobile, de l'internet des objets et de l'aéronautique ;
- ◆ les semi-conducteurs de puissance (*power semiconductors*), notamment pour les moteurs électriques ;
- ◆ les capteurs intelligents (*sensors*) pour l'automobile et l'internet des objets ;
- ◆ les équipements optiques avancés (*advanced optical equipment*) pour la lithographie qui offrent des perspectives de miniaturisation et qui sont utilisés pour le stockage et le traitement de données ;
- ◆ les matériaux composites (*compound materials*), en remplacement du silicium largement utilisé.

**Le processus de conception du PIIEC ME a duré deux ans et trois mois** (cf. figure 3). Il a débuté en octobre 2016 avec le dépôt d'une version initiale d'un texte chapeau à la commission européenne décrivant les propositions des États membres sur les axes stratégiques à soutenir. Les échanges entre la commission et les États membres sur les axes stratégiques et le format des projets se sont tenus durant l'année 2017, suivis de réunions techniques conduisant au dépôt des projets à la fin du premier semestre 2018. En parallèle, des réunions à haut niveau entre la commission et les États membres ont eu lieu entre janvier et septembre 2018, avant la validation finale du PIIEC ME le 13 décembre 2018.

---

<sup>14</sup> Décision de la commission européenne C(2018) 8864 du 13 décembre 2018.

Figure 3 : Calendrier des travaux de construction du PIIEC microélectronique (2018)



Source : décision de la commission européenne C(2018) 8864 du 13 décembre 2018.



## Annexe I

L'Allemagne, qui participe aux cinq thèmes techniques, est le principal pays du PIIEC en termes de montants : les projets allemands portés par des industriels représentent une enveloppe de 3,1 Md€ (soit 39 % du montant total), et bénéficient d'une aide publique de [REDACTED]. **La France est engagée dans quatre des cinq thèmes techniques : elle ne contribue pas au thème technique sur les équipements optiques avancés. L'entreprise UMS, cheffe de file du programme Nano 2022, ne participe pas au PIIEC** : elle participe aux thèmes techniques du PIIEC mais ne bénéficie pas d'aide à la première industrialisation. Les projets français portés par des industriels représentent un montant total de 2,0 Md€ (soit 25 % du montant total), dont 456 M€ d'aide publique de l'État français. L'Italie participe au PIIEC via un seul industriel, STMicroelectronics, qui porte des projets dans les trois premiers thèmes techniques (puces écoénergétiques, semi-conducteurs de puissance et capteurs intelligents) pour un montant total [REDACTED] (soit 30 % du montant total), dont [REDACTED] de soutien public italien. Enfin, le Royaume-Uni a un engagement plus limité dans le PIIEC ME : les industriels anglais sont engagés dans un seul thème technique (matériaux composites) pour un montant total de [REDACTED], dont [REDACTED] d'aide publique nationale (cf. tableau 1).

**Figure 4 : Partenaires directs du premier PIIEC microélectronique (2018)**

Project management				
1 Energy efficient chips	2 Power semiconductors	3 Sensors	4 Advanced optical equipment	5 Compound materials
CEA-Leti	3-D Micromac	CEA-Leti	AMTC	AZUR Space Solar Power
Cologne Chip	AP&S International	CorTec	Carl Zeiss	CEA-Leti
Globalfoundries	CEA-Leti	Elmos Semiconductors		Integrated Compound Semiconductors
Racy/Cs	Elmos Semiconductors	Fondazione Bruno Kessler		IQE
Soitec	Infineon	Infineon		Newport Wafer Fab
ST Micro-electronics	MURATA	Robert Bosch		SPTS Technologies
X-FAB	Robert Bosch	ST Micro-electronics		OSRAM
	<i>SEMIKRON</i>	TDK-Micronas		Sofradir
	ST Micro-electronics	ULIS		Soitec
	X-FAB	X-FAB		ST Micro-electronics

Name in "italic" = SME

Source : commission européenne

L'Autriche a rejoint le PIIEC en mars 2021. Le projet porté par trois entreprises (Infineon Austria, AT&S Austria et NXP Semiconductors Austria), d'un montant total de [REDACTED], bénéficie d'une aide d'État de [REDACTED]. Il porte sur les domaines de la sécurité, de l'efficacité énergétique et des technologies d'intégration et d'emballage dans le domaine de la microélectronique.

La gouvernance du PIIEC est exercée par une assemblée générale qui rassemble tous les bénéficiaires, les financeurs et la commission européenne. Elle est complétée par un bureau de supervision composé de représentants des États membres (de la DGE pour la France), de représentants des industriels (chefs de file des thèmes techniques et représentants des PME) et d'un membre de la commission européenne sans voix délibérative. Le bureau de supervision se réunit deux fois par an.

## Annexe I

Les projets validés par le PIIEC font l'objet d'un **reporting annuel** par les États membres, fondé sur les indicateurs définis par le bureau de supervision :

- ◆ les actions de dissémination comme les conférences, les articles dans la presse spécialisée, les webinaires ;
- ◆ les actions de collaboration comme par exemple via les projets de R&D de la JU ECSEL la participation plateformes ouvertes ;
- ◆ les brevets déposés ;
- ◆ les doctorants et post-doctorants employés.

### 1.3. Le programme Nano 2022 soutient des projets de développement « *More than Moore* », qui visent à diversifier les usages des puces microélectroniques

Le programme Nano 2022 a été annoncé le 15 mars 2019 par le ministre de l'économie et des finances lors d'un déplacement sur le site industriel de STMicroelectronics à Crolles. Il s'agit du quatrième plan quinquennal de soutien à l'industrie de la micro-électronique, qui s'inscrit pour la première fois dans le cadre d'un projet important d'intérêt commun européen (PIIEC) pour la microélectronique (ME) décrit en 1.2.2.

Le programme Nano 2022 rompt avec la course à la miniaturisation (selon le principe « More Moore ») soutenue par les précédents programmes Nano (cf. annexe II), pour se concentrer sur la diversification des applications des puces. Le principe « More than Moore » s'attache à développer de nouveaux substrats et designs afin de rendre les puces plus économes, plus puissantes ou d'élargir les gammes de fréquences d'utilisation, sans chercher à réduire leur taille en première intention. **Le programme Nano 2022 identifie principalement la mobilité (véhicules autonomes et électriques) et les communications comme principaux domaines d'usage des technologies soutenues.**

Les projets soutenus s'inscrivent dans les thèmes techniques définis par le PIIEC ME mais peuvent aussi être soutenus dans le cadre des entreprises communes européennes ECSEL (jusqu'en 2020) et *key digital technology* (KDT, à partir de 2021), présentées au 2.1.3. Les projets inscrits dans le PIIEC ME sont dits du « *programme national* » et les projets de ECSEL et KDT sont désignés par le nom retenu lors de leur sélection par l'entreprise commune (comme « *OCEAN 12* » par exemple). Tous les projets sont cependant rattachés à un thème technique du PIIEC ME (cf. tableau 2). Ainsi :

- ◆ STMicroelectronics participe aux quatre thèmes techniques dans lesquels la France est engagée, dont trois (semi-conducteurs de puissance, capteurs intelligents et matériaux composites) en collaboration avec le CEA-Leti ;
- ◆ Soitec (pour le développement des puces écoénergétiques et des matériaux composites), LYNRED (engagé dans les capteurs intelligents et les matériaux composites), Murata (qui porte un projet sur les semi-conducteurs de puissance) et UMS (sur les matériaux composites) collaborent systématiquement avec le CEA-Leti ;
- ◆ Seul X-FAB, qui porte des projets sur les puces écoénergétiques et les capteurs intelligents n'est pas associé au CEA-Leti.

**Tableau 2 : Participation des chefs de file industriels dans les thèmes techniques du programme Nano 2022**

Thème technique	STMicroelectronics	Soitec	LYNRED	Murata	X-FAB	UMS
Puces écoénergétiques	Avec CEA-LETI	Avec le CEA-Leti	-	-	Seul	-
Semi-conducteurs de puissance	Avec le CEA-Leti	-	-	Avec le CEA-Leti	-	-
Capteurs intelligents	Avec le CEA-Leti	-	Avec le CEA-Leti	-	Seul	-
Equipements optiques avancés	-	-	-	-	-	-
Matériaux composites	Avec le CEA-Leti	Avec le CEA-Leti	Avec le CEA-Leti	-	-	Avec le CEA-Leti

*Source : Mission d'après le chapeau du PIIEC ME et la convention cadre du 29 décembre 2020 entre l'État et le CEA-Leti.*

Le programme a soutenu des projets de FID pour cinq des six chefs de file industriels<sup>15</sup>, et a par exemple soutenu l'extension de la salle blanche de l'usine Bernin 3 de Soitec pour la production de piézoélectriques sur isolant (POI) utilisés dans les filtres pour les smartphones et la production d'une nouvelle génération de micro-bolomètres avec traitement du signal intégré par LYNRED. Les performances des imageurs produits par STMicroelectronics pour la capture en trois dimensions, utilisés pour les systèmes d'aide à la conduite et la sécurisation des objets connectés, se sont améliorées grâce aux projets de R&D soutenus par le programme. D'un point de vue qualitatif, les industriels décrivent une collaboration plus nourrie entre acteurs aval du secteur et avec le CEA-Leti, notamment par le développement de projets de recherche partenariale au-delà des axes de Nano 2022.

#### **1.4. Le programme a conduit à des avancées techniques qui ont été, pour plusieurs, poursuivies et amplifiées jusqu'à la réalisation de lignes de production**

##### **1.4.1. Le premier thème technique, qui porte sur les puces écoénergétiques, mené par STMicroelectronics, Soitec et X-FAB a atteint totalement ou partiellement 14 des 15 jalons techniques visés**

Ce thème vise à l'adaptation des technologies, allant jusqu'au montage, de circuits intégrés de haute performance pour des applications particulièrement exigeantes en matière de fiabilité, de consommation et de montée en fréquence que sont la radiotéléphonie 5G et au-delà, les applications spatiales et le secteur de l'automobile.

<sup>15</sup> UMS n'a pas bénéficié d'aides pour la FID, n'étant pas partenaire du PIIEC ME.

## Annexe I

Deux de ses tâches sont consacrées au développement de la fabrication de circuits sur substrat semi-isolant :

- ♦ l'une (WP1), conduite par STMicroelectronics et Soitec avec l'appui du CEA-Leti, porte sur la diminution de la consommation en renforçant la technologie FD-SOI<sup>16</sup> gravée à 28 nm de STMicroelectronics ;
- ♦ l'autre (WP2) fait passer la gamme de fréquence de fonctionnement de [REDACTED] à [REDACTED] de composants analogiques sur substrats SOI, élaborés par Soitec, par STMicroelectronics et X-Fab, suivant deux technologies différentes. Ces recherches technologiques sont validées par la réalisation de circuits et des modélisations faits par de nombreux partenaires.

Le plus gros effort est dédié à l'optimisation de points mémoire non-volatiles (WP3) pour les microcontrôleurs de STMicroelectronics, tant dans la technologie classique CMOS 40 nm, [REDACTED], que pour la technologie FD-SOI à 28 nm en utilisant des mémoires à changement de phase. Ces travaux sont conduits à Grenoble (STMicroelectronics, CEA-Leti) et au Rousset (STMicroelectronics).

La tâche 4 (WP4) est consacrée à la R&D de diverses technologies, allant de l'optimisation des procédés de montage [REDACTED] au développement de matériaux piézoélectriques déposés sur substrat silicium [REDACTED] pour la réalisation de filtres pour communications radio, [REDACTED] (Soitec).

La mise en place par Soitec dans les locaux du CEA-Leti d'un centre d'innovation sur les substrats, mis à la disposition des acteurs de la recherche publics et privés fait également partie de cette tâche.

La science de la fabrication, indispensable pour assurer le rendement de la production, et la première industrialisation (FID) des technologies constituent la tâche 5 (WP5).

Enfin, condition imposée par la Commission européenne pour pouvoir bénéficier de ses subventions, la dissémination des résultats sous forme de publications, de colloques ou de formation constitue le WP6.

**Au total, ce thème technique était constitué de 15 sous-tâches techniques. À la date de la mission, 12 tâches ont été totalement réalisées, 2 sont en cours de réalisation, et une a été abandonnée, soit un taux de réussite de 80 %.** [REDACTED]

---

<sup>16</sup> Le FD-SOI (*Fully Depleted Silicon On Insulator*) est une technologie de traitement planar qui repose sur deux innovations principales. Tout d'abord, une couche ultra-mince d'isolant, appelée oxyde enterré, est positionnée sur le substrat de silicium. Ensuite, un film de silicium très mince déposé sert de canal du transistor. Grâce à sa finesse, il n'est pas nécessaire de doper le canal, ce qui en améliore les performances. A taille de gravure équivalente, au prix d'un substrat plus complexe, le transistor FD-SOI est très supérieur en termes de fréquence de fonctionnement, de consommation et de bruit à celui sur silicium massif.



Annexe I

		[Redacted]	
		[Redacted]	
		[Redacted]	
[Redacted]		[Redacted]	
[Redacted]		[Redacted]	
[Redacted]		[Redacted]	
[Redacted]		[Redacted]	





#### 1.4.2. Le projet sur les composants de puissance, porté par Murata Integrated Passive Solutions, a atteint la quasi-totalité de ses objectifs

Le deuxième thème technique (*technology field*, TF 2), mené par Murata Integrated Passive Solutions, porte sur les composants de puissance, avec deux axes de développement :

- ◆ les condensateurs miniatures pour le traitement de signal et la puissance ;
- ◆ les condensateurs hybrides pour le stockage d'énergie.

L'entreprise Murata a été impliquée dans ce seul thème technique du PIIEC de 2018. Le projet a été mené en partenariat avec le CEA-Leti, le CEA-List, le laboratoire Ampère, le laboratoire des technologies de la microélectronique et les entreprises Air Liquide, Valeo, Schlumberger et aPSI3D.

Le projet était décomposé en six *work packages* (WP), cinq techniques et un de coordination globale du projet. **À la date de la mission, deux des cinq WP techniques ont atteint la totalité de leurs objectifs [REDACTED]. Les trois autres WP ont atteint 78 % des jalons fixés, principalement à cause de retards pris dans certaines tâches.**



**1.4.3. Le projet conduit par LYNRED au sein du thème technique sur les capteurs intelligents a atteint deux tiers de ses objectifs,**

Le projet BOLO conduit par LYNRED visait à proposer une nouvelle gamme de capteurs basés sur la technologie des micro-bolomètres, en vue de la conception et de la fabrication d'imageurs thermiques avancés dédiés à la mobilité (véhicules à moteur et internet des objets).

Le chef de file du projet, LYNRED, s'appuyait sur le CEA-Leti pour les développements technologiques et sur le Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N, laboratoire CNRS/Université Paris-Saclay) pour le développement de nouveaux matériaux et de nouveaux designs de pixel.

Annexe I


Annexe I


#### 1.4.4. Les projets du cinquième thème technique sur les matériaux composites ont des niveaux d'avancement plus limités

Sous cette rubrique sont regroupés les travaux de R&D&I et de première industrialisation de dispositifs et de circuits sur matériaux semi-conducteurs autres que le silicium. Ce sont des alliages composés, soit d'un élément de la colonne III (Ga, In) du tableau de Mendeleïev avec un élément de la colonne V (N, P, As), soit d'un élément de la colonne II (Cd, Hg) avec un élément de la colonne VI. Ils sont plus performants que le silicium pour réaliser des dispositifs très rapides, de puissance ou optiques.

Ce thème technique a fait l'objet de trois projets distincts :

- ◆ autour de STMicroelectronics avec Soitec et le support du CEA-Leti : fabrication de plaquettes adaptées (WP1) pour la réalisation de circuits de démonstration utilisant des technologies permettant les fonctions optiques sur silicium (photonique Si) (WP3)

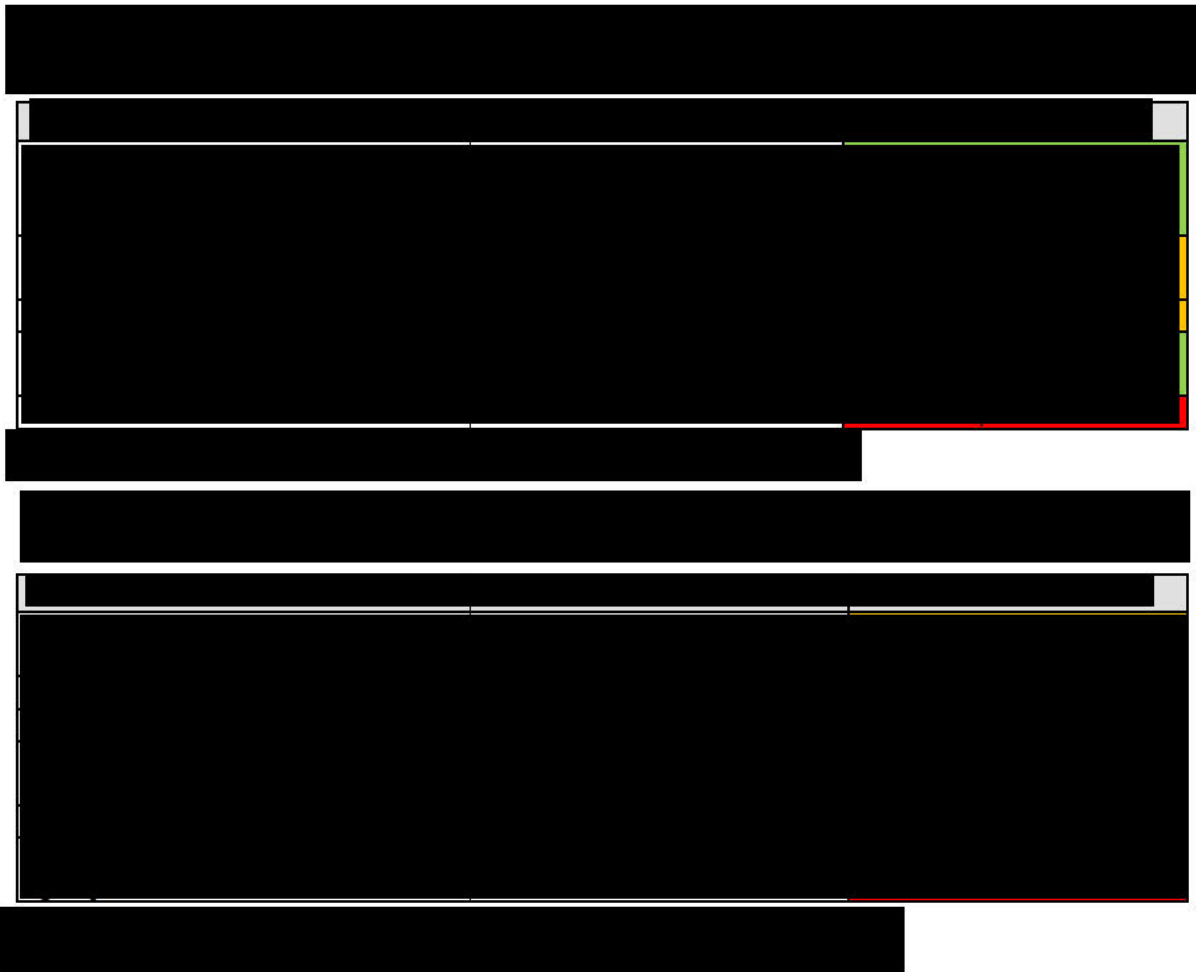
. Les tâches WP5 et WP6, comme pour les autres TF sont dédiés aux travaux de première industrialisation et à la dissémination des résultats. De nombreux partenaires contribuent. Ce projet avait huit sous-tâches techniques. À la date de la mission, cinq des jalons associés à ces sous-tâches ont été atteints, un l'a été partiellement et deux ont été abandonnés, soit un taux de réussite de 62 %

- ◆ LYNRED et ses partenaires avec le support du CEA-LETI et l'utilisation de STMicroelectronics comme prestataire veut réaliser de très grands plans focaux
- Ce projet était constitué de cinq sous-tâches, dont deux ont été totalement réalisées, deux partiellement et une abandonnée, soit un taux de réussite de 40 %

- ◆

Annexe I

The image shows a large table with a black background and white grid lines. The table is mostly empty, with a few small colored rectangles (red, yellow, green) visible in the bottom right corner of the grid. The table is surrounded by black bars at the top and bottom.



## **2. Le programme Nano 2022, malgré ses multiples sources de financement et ses très nombreuses parties prenantes, a un pilotage effectif centralisé par la DGE**

### **2.1. Doté de plus d'un milliard d'euros d'argent public, le programme Nano 2022 fait l'objet de sources diverses de financement et d'un circuit financier complexe**

#### **2.1.1. Le financement de l'État provient de quatre sources et résulte de cinq circuits différents**

Le montant du financement de l'État et le pourcentage d'abondement des projets a été établi par la réunion interministérielle du 12 décembre 2017.

Les financements de l'État initialement prévus (cf. tableau 9) proviennent :

- ◆ du PIA 3 via la caisse des dépôts et consignations (CDC), pour 368 M€, à partir de quatre lignes budgétaires décrites en tableau 9 ;
- ◆ du programme 192 « recherche et enseignement supérieur en matière économique et industrielle » piloté par le ministère de l'économie et des finances, pour 74 M€ ;

## Annexe I

- ◆ des programmes 144 « environnement et prospective de la politique de défense » et 191 « recherche duale (civile et militaire) », pilotés par le ministère des armées, pour 70 M€. La réunion interministérielle du 19 juin 2018 acte que le financement du ministère des armées est dédié à l'ensemble du programme, et qu'il n'est pas fléché vers les projets qui ont des applications militaires ;
- ◆ du fond pour l'innovation et l'industrie (FII) opéré par Bpifrance pour 175 M€ initialement. La mise en extinction du FII, actée dans la loi de finances 2023 a modifié la source des 25 M€ prévus à chacune des années 2023 et 2024, qui ont été financés par le PIA 4.

**Tableau 9 : Répartition initiale des subventions accordées au programme Nano 2022 par l'État (en M€)**

Origine	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Programme d'investissements d'avenir (PIA)	-	16	5	110	237	-	-	368
... dont issus de la ligne « équipements structurants pour la recherche »	-	10	-	-	-	-	-	10
... dont issus de la ligne « écosystèmes d'innovation performants » (volet ANR)	-	-	-	37	37	-	-	74
... dont issus de la ligne « écosystèmes d'innovation performants » (volet CDC)	-	6	5	23	-	-	-	34
... dont crédits redéployés depuis l'action « industrie du futur » et « accompagnement et transformation des filières »	-	-	-	50	200	-	-	250
Ministère de l'économie (programme 192)	11	11	11	11	11	11	11	74
Ministère des armées	10	10	10	10	10	10	10	70
Fonds pour l'innovation et l'industrie (FII)	25	25	25	25	25	25	25	175
<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>62</b>	<b>50</b>	<b>156</b>	<b>283</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	<b>687</b>

*Source : Compte-rendu de la réunion interministérielle du 12 décembre 2017.*

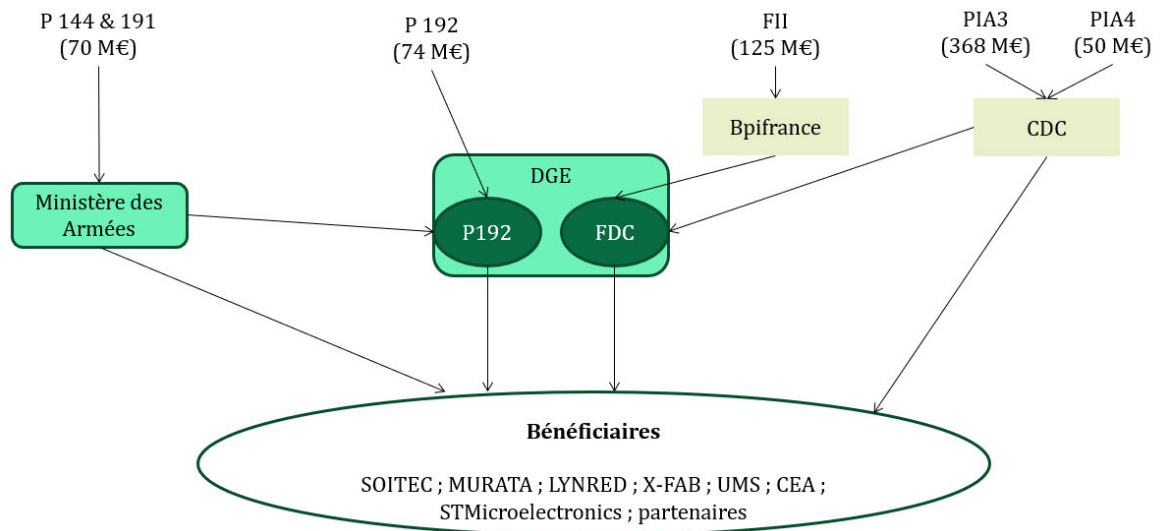
Les taux d'aides sont fixés en fonction des acteurs bénéficiaires :

- ◆ le taux de soutien des dépenses d'investissement des industriels est fixé à 15 % ;
- ◆ le taux de soutien des dépenses de fonctionnement des industriels est fixé à 20 % pour STMicroelectronics et à 25 % pour les autres industriels ;
- ◆ le soutien aux investissements du CEA est à hauteur de 50 M€ ;
- ◆ le soutien aux dépenses de fonctionnement du CEA est fixé à 30 %.

La réunion interministérielle du 19 juin 2018 prévoit que les crédits relevant du budget annuel (ministère de l'économie et ministère des armées) sont centralisés sur le programme 192 par décret de transfert. Les crédits du PIA et du FII sont versés sur un fond de concours (FDC) spécifique « financement des plans Nano 2017 et Nano 2022 par le PIA et le fonds pour l'innovation et l'industrie (EPIC Bpifrance) » rattaché au programme 192. En pratique, certains projets ont été financés directement par le ministère des armées (sur l'enveloppe de 70 M€) et la CDC sans passer par le programme 192 ou le fond de concours. Le circuit des subventions de l'État accordées au programme Nano 2022 est présenté en figure 5.

## Annexe I

**Figure 5 : Circuit des subventions du programme Nano 2022 accordées par l'État**



*Source : Mission*

Les six chefs de file industriels et le CEA-Leti bénéficient de 686,6 M€ de subventions de l'État pour contribuer au financement de projets d'un montant total initialement prévu de 2 964,9 M€, soit un taux d'aide de 23 % (cf. tableau 10).

Annexe I

Tableau 10 : Subventions publiques des projets du programme Nano 2022 par bénéficiaire

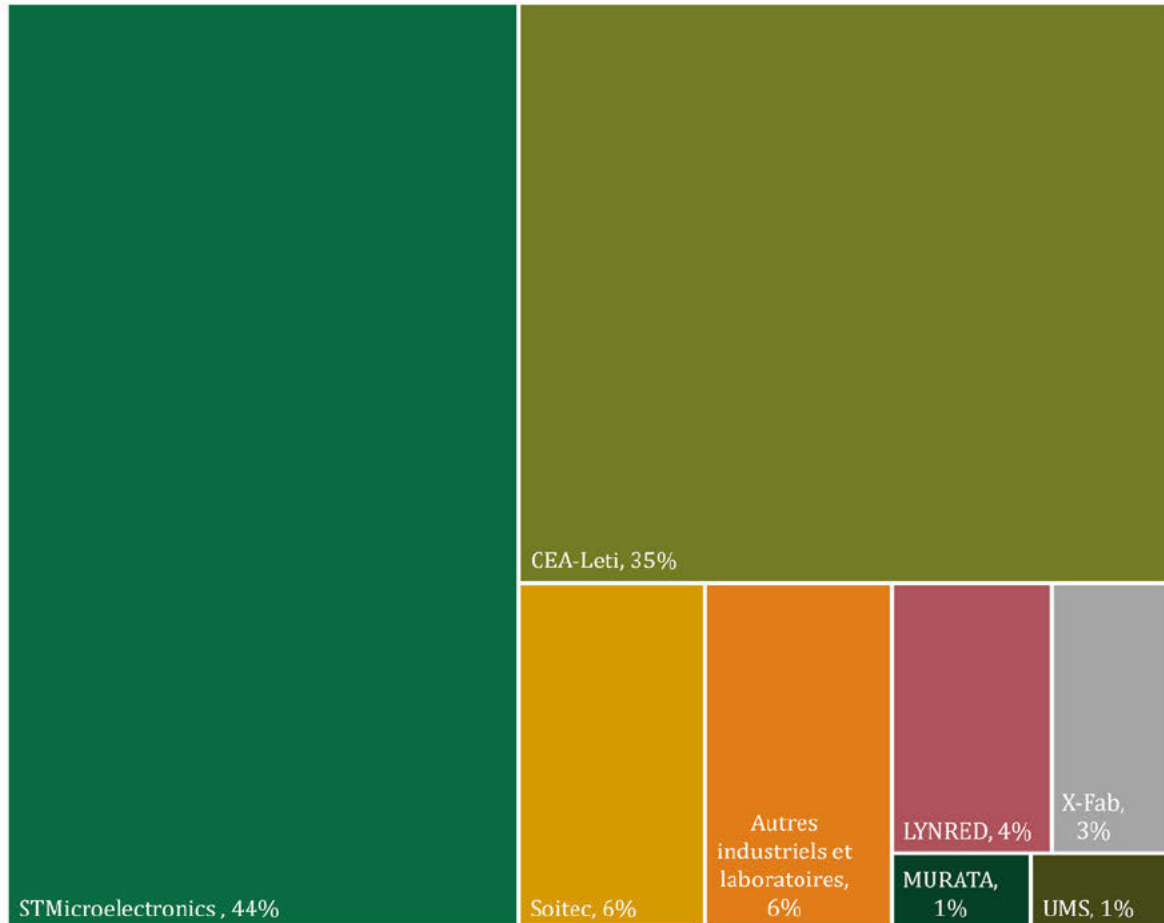
Partenaire	Montant de l'assiette aidée (en M€)	Montant des engagements de l'État (en M€)	Montant des financements européens (en M€)	Montant du financement des collectivités (en M€)	Taux d'aide de l'État	Taux d'aide de la commission européenne	Taux d'aide des collectivités territoriales	Taux d'aide publique totale
STMicroelectronics	1 562,1	300,1	34,4	-	19 %	2 %	0 %	21 %
CEA-Leti	783,0	234,0	48,4	62,1	30 %	6 %	8 %	44 %
Soitec	224,2	39,8	8,1	10,1	18 %	4 %	5 %	27 %
Autres industriels et laboratoires	157,0	42,5	16,5	Non disponible (N.D.)	27 %	11 %	Non applicable (N.A.)	N.A.
LYNRED	90,0	26,4	3,8	0,8	29 %	4 %	1 %	34 %
X-FAB	74,0	18,5	-	-	25 %	0 %	0 %	25 %
MURATA	51,3	9,5	-	1,5	19 %	0 %	3 %	22 %
UMS	23,2	7,1	1,2	-	31 %	5 %	0 %	36 %
<b>Total</b>	<b>2 964,9</b>	<b>677,9</b>	<b>112,5</b>	<b>74,5</b>	<b>23 %</b>	<b>4 %</b>	<b>3 %</b>	<b>30 %</b>

*Source : Mission à partir des données de suivi financier de la DGE pour les crédits nationaux et européens, et des conventions État-DGA.*

## Annexe I

Une aide de 300,1 M€ (soit 44 % des subventions du programme accordées par l'État, cf. graphique 1) est accordée à STMicroelectronics. Soitec bénéficie d'une aide de 39,8 M€, soit 6 % de la subvention publique. Les quatre autres chefs de file industriels reçoivent 61,5 M€, soit 9 % de la subvention. L'aide accordée au CEA-Leti s'élève à 234 M€, ce qui représente 35 % de l'enveloppe accordée par l'État au programme Nano 2022. Enfin, d'autres industriels et laboratoires reçoivent aussi directement des aides de l'État, pour un montant total de 42,5 M€, soit 6 % de l'enveloppe.

**Graphique 1 : Répartition des subventions de l'État parmi les acteurs du programme Nano1 2022**



*Source : Mission à partir des données de suivi financier de la DGE et des conventions État-DGA.*

Le taux d'aide de l'État varie entre 31 % pour UMS et 18 % pour Soitec. Les travaux de STMicroelectronics bénéficient de 19 % de subvention. Les projets du CEA-Leti sont soutenus à hauteur de 30 %.

Pour les subventions de l'État, l'engagement et le versement des crédits ont été gérés par la DGE, la CDC et la DGA. Cette triple source a généré une multiplication des conventionnements :

- ◆ la DGE a établi une convention-cadre avec chaque chef de file pour toute la durée du programme, définissant le montant maximal des engagements de l'État mais aussi des collectivités territoriales contribuant au financement des projets portés par le chef de file. Ces conventions ont été complétées d'une convention tripartite entre l'État, le bénéficiaire et la collectivité territoriale concernée (cf. 2.1.2). Les conventions cadre ont été signées au cours de l'année 2020 ;

## Annexe I

- ◆ la CDC a établi une convention par projet financé directement par cette institution avec chacune des sept branches de STMicroelectronics en France, soit plus d'une vingtaine de conventions signées en 2019 et 2020 ;
- ◆ la DGA a établi une convention avec l'entreprise LYNRED pour le projet HELIXIR, seul projet financé directement par le ministère des armées.

A la date de la mission, 93 % des engagements de l'État sous la forme de subventions ont été payés aux bénéficiaires du programme (cf. tableau 11).

**Tableau 11 : Engagements et paiements des subventions de l'État accordées aux bénéficiaires du programme Nano 2022**

Bénéficiaire	Engagements (en M€)	Paiements (en M€)	Part des engagements payés
STMicroelectronics	300,1	285,9	95 %
CEA-Leti	234,0	219,1	94 %
Soitec	39,8	36,9	93 %
Autres industriels et laboratoires	42,5	27,2	64 %
LYNRED	26,4	23,5	89 %
X-FAB	18,5	18,5	100 %
MURATA	9,5	9,5	100 %
UMS	7,1	7,1	100 %
<b>Total</b>	<b>677,9</b>	<b>627,7</b>	<b>93 %</b>

*Source : Mission à partir des données de la DGE en date du 4 novembre 2024*

Les chefs de file du programme ont perçu la quasi-intégralité des montants engagés par l'État, seul LYNRED a perçu moins de 90 % des montants engagés. Les partenaires des chefs de file ont un taux de paiement beaucoup plus bas : ils ont reçu seulement 64 % des montants engagés sous la forme de subventions. Les crédits en attente de paiement sont gérés par la DGE, la CDC ayant soldé les versements aux bénéficiaires du programme Nano 2022 en début d'année 2024.

En complément, **un prêt de 200 M€ au bénéfice de l'entreprise Soitec** a été financé sur le programme 876, « prêts octroyés dans le cadre des programmes d'investissements d'avenir », pour une durée de douze ans. Il s'agit de la seule mesure de ce programme budgétaire. Ce prêt participe au financement d'un projet de soutien à la recherche et à la première industrialisation de substrats électroniques innovants pour des applications dans l'automobile, l'IA embarquée, les objets connectés et les technologies de la communication d'un montant de 380 M€, soit 53 % de l'investissement. **La gestion du prêt est intégralement confiée à la Caisse des dépôts et consignations (CDC).**

La réunion interministérielle du 19 juin 2018 a fixé une chronique de décaissement de 50 M€ en 2019, 100M€ en 2022 et 50 M€ en 2023. En pratique, le contrat de prêt signé le 27 mars 2020 entre la CDC et Soitec prévoit cinq tirages :

- ◆ 100 M€ en 2020 ;
- ◆ 26 M€ en 2021 ;
- ◆ 32 M€ en 2022 ;
- ◆ 31 M€ en 2023 ;
- ◆ 11 M€ en 2024.

Les rapports annuels de performance 2020-2023 du programme 876 mentionnent que les décaissements ont suivi cette chronique. Le projet annuel de performance 2024 prévoit le dernier tirage de 11 M€ en 2024. Le taux effectif global est de 1,5 %, sous réserve du respect de la chronique de tirages et de remboursements prévue dans le contrat de prêt.

## Annexe I

Les intérêts, qui représentent à date 3,2 M€, sont reversés depuis 2020. Les remboursements du capital ont démarré en fin d'année 2022 et ont été enregistrés en 2023 pour 2,8 M€. Il est attendu le remboursement de 10 M€ en 2024.

### **2.1.2. Le financement des collectivités territoriales s'élève à 74,5 M€, dont 62,1 M€ destiné au CEA-Leti**

Les collectivités territoriales ont été invitées à co-financer des projets déjà inclus dans le cadre du PIIEC et des projets de R&D annexes mais complémentaires au projet européen. Les collectivités ont financé soit directement les chefs de file industriels, soit leurs partenaires industriels ou académiques (dont le CEA-Leti) implantés sur leur territoire. Au total, **les chefs de file industriels et le CEA-Leti ont bénéficié de 74,5 M€ de financement de la part des collectivités territoriales** (cf. tableau 10), dont 62,1 M€ (83 %) pour le CEA-Leti. Les collectivités territoriales ont accordé une aide de 10,1 M€ à Soitec, de 1,5 M€ à Murata et 0,8 M€ à LYNRED. STMicroelectronics, UMS et X-FAB n'ont pas bénéficié d'aides des collectivités territoriales. Cependant, les partenaires industriels et académiques des projets portés par STMicroelectronics ont été co-financés par les collectivités territoriales.

Les partenaires des projets portés par STMicroelectronics ont été aidés par les régions Auvergne-Rhône-Alpes, Bretagne, Centre-Val de Loire et Provence-Alpes-Côte d'Azur, ainsi que par le conseil départemental de l'Isère, la communauté de communes le Grésivaudan, Grenoble Alpes Métropole, la communauté d'agglomération du Grand Annecy, Rennes métropole, Tours métropole Val de Loire, et la métropole Aix-Marseille Provence. Les projets portés par Soitec ont reçu des aides de la région Auvergne-Rhône-Alpes, du conseil départemental de l'Isère, de la communauté de communes le Grésivaudan, de Grenoble Alpes Métropole et de la région Bourgogne-Franche-Comté. LYNRED et ses partenaires ont été bénéficiaires d'aides de Grenoble Alpes Métropole.

Les montants exacts d'aide accordés par les collectivités territoriales ne sont pas connus de la DGE. L'enquête adressée aux bénéficiaires du programme Nano 2022 par la mission ne permet pas de reconstituer ce chiffre. En effet, les répondants ont déclaré l'ensemble des financements régionaux et locaux qu'ils ont reçu, sans distinguer ceux qui se rattachaient aux projets du programme des autres.

### **2.1.3. Les financements européens, obtenus dans le cadre de l'entreprise commune (joint union undertaking) ECSEL, s'élèvent à 113 M€, soit 117 M€ de moins que prévu initialement**

Le PIIEC microélectronique n'inclut pas de crédits communautaires (cf. 1.2.1). Cependant, la Commission européenne finance jusqu'à 50 % du montant des projets retenus dans le cadre de l'appel à projets annuel des entreprises communes ECSEL<sup>17</sup> pour la période 2017-2020 et KDT<sup>18</sup> depuis 2021. Certains projets du programme Nano 2022, non-inscrits dans le PIIEC, ont été soutenus à l'échelle européenne par ces entreprises communes.

---

<sup>17</sup> L'initiative technologique conjointe (entreprise commune) ECSEL s'inscrit dans le cadre du programme européen Horizon 2020 et dans la stratégie européenne de soutien aux technologies clés. L'entreprise commune ECSEL concerne les technologies de base du numérique : composants nano/microélectronique, logiciels et systèmes. Elle a pris fin en 2020.

<sup>18</sup> L'entreprise commune pour les technologies numériques clés (KDT JU) est le partenariat public-privé pour la recherche, le développement et l'innovation sur les technologies numériques clés du programme Horizon Europe porté par la commission européenne. Cette entreprise commune a pris la suite de l'entreprise commune ECSEL.

## Annexe I

Entre 2017 et 2021, les entreprises communes ECSEL puis KDT ont sélectionné 68 projets d'un montant total de 2,1 Md€, toutes sources de financement confondues (cf. tableau 12). 48 projets (soit 70 %) ont au moins un partenaire français, et 11 (soit 16 %) sont coordonnés par un acteur français. **16 projets (soit 23 %) des projets sélectionnés par les entreprises communes sont rattachés au programme Nano 2022.** Les projets coordonnés par un acteur français ont un montant total de 451 M€, soit 21 % du montant total. La France est le troisième pays le plus représenté parmi les coordonnateurs de projets ECSEL et KDT, derrière l'Allemagne (16 projets) et les Pays-Bas (13 projets), cependant, les montants totaux des projets coordonnés sont comparables : 385 M€ pour les projets coordonnés par un acteur allemand et 488 M€ pour les projets coordonnés par un acteur néerlandais. Ainsi, **la France figure parmi les trois pays les plus dynamiques au sein de ces entreprises communes, à un niveau comparable à celui des deux autres.**

**Tableau 12 : Nombre et montant des projets sélectionnés par les JU ECSEL et KDT entre 2017 et 2021**

Appel à projets	ECSEL 2 017	ECSEL 2 018	ECSEL 2 019	ECSEL 2 020	KDT 202 1	Total
Nombre de projets	14	12	16	15	11	68
Nombre de projets qui ont un partenaire français	8	11	10	10	9	48
Nombre de projets coordonnés par un partenaire français	3	3	2	1	2	11
Nombre de projets rattachés au programme Nano 2022	3	5	3	3	2	1616
Montant total des projets (en M€)	649	389	286	461	331	2115
Montant des projets qui ont un partenaire français (en M€)	471	375	215	342	304	1707
Montant des projets coordonnés par un partenaire français (en M€)	217	82	40	25	87	451
Montant des projets rattachés au programme Nano 2022 (en M€)	217	98	65	124	53	504

*Source : Mission à partir des données disponibles sur le portail de la Chips JU.*

Au total, **les financements européens obtenus par les acteurs français pour les projets du programme Nano 2022 dans le cadre des entreprises communes ECSEL et KDT s'élèvent à 113 M€** (cf. tableau 10). Le CEA-Leti est le principal bénéficiaire des crédits européens, avec un montant perçu de 48,4 M€. STMicroelectronics et Soitec ont obtenu respectivement 34,4 M€ et 8,1 M€. UMS et LYNRED ont bénéficié de montants plus limités, de respectivement 1,2 M€ et 3,8 M€. X-FAB et Murata n'ont pas reçu de crédits européens.

**Les entreprises communes (ou joint union, JU) peuvent sélectionner des projets déjà aidés par des subventions nationales du programme Nano 2022.** Dans ce cas, les dispositions suivantes s'appliquent :

- ◆ la partie des travaux initialement prévus dans le volet « programme national » est basculée vers le projet retenu par l'entreprise commune ;
- ◆ il est procédé à la signature de conventions entre l'acteur bénéficiaire, l'État, les collectivités territoriales impliquées et l'entreprise commune relatives aux projets retenus ;
- ◆ l'assiette de ces conventions doit intégrer à la fois les travaux issus du volet « programme national » et les travaux supplémentaires.

## Annexe I

- ◆ Les seize projets sélectionnés par les JU et déjà inclus en partie par le programme Nano 2022 ont été intégrés dans les conventions annuelles passées entre l'État et les bénéficiaires. Les travaux supplémentaires ont donc été intégrés au fur et à mesure de la réalisation du programme. Cependant, il n'y a pas eu de mise à jour du montant total des projets aidés par Nano 2022, et ainsi pas de vision centralisée des taux de soutien des projets.

Les financements de l'entreprise commune représentent au plus 5 % du montant total des projets des chefs de file industriels. Ils représentent 8 % du cout des projets menés par le CEA-Leti, et 11 % de l'assiette aidée pour les projets menés par les autres partenaires industriels et académiques.

**Pour l'ensemble du programme Nano 2022, les financements de l'État représentent en moyenne 23 % du montant total des projets aidés. Les collectivités territoriales et la commission européenne financent chacune 3 % du montant total du programme.** Toute aide publique confondue, le CEA-Leti et UMS ont le taux de financement public le plus élevé, de respectivement 43 % et 44 %. STMicroelectronics et LYNRED ont le plus faible taux d'aide, à 21 %.

### 2.2. La gouvernance du programme Nano 2022, qui semble complexe et étendue, est centralisée par la DGE

#### 2.2.1. La conception du programme et la sélection des acteurs et projets aidés ont été menées par la DGE, selon un principe de gré-à-gré après dialogue

Les travaux de conception du programme Nano 2022 se sont inscrits dans le processus de constitution du PIIEC microélectronique décrit en 1.2.2.

Le programme Nano 2022 est un programme de recherche industrielle, construit en collaboration étroite entre les acteurs de la recherche, les industries et le ministère chargé de l'économie. En pratique, les avancées de la recherche susceptibles de représenter des innovations technologiques pour le secteur des semi-conducteurs et d'ouvrir des perspectives de marché pour les acteurs français ont été identifiées par les industriels, sous l'égide du comité stratégique de filière et de l'alliance des composants et systèmes pour l'industrie électronique (ACSIEL), l'organisation professionnelle de la filière industrielle électronique en France. Les propositions ont été communiquées à la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) du ministère chargé de la recherche et à la direction générale de l'armement (DGA) du ministère des armées, et expertisées par la DGE.

La commission européenne élabore les axes stratégiques du PIIEC à partir des propositions des États membres. Les acteurs privés et publics intéressés par les axes stratégiques élaborent des projets concrets et un dossier technico-financier justifiant le recours à une aide publique. Les projets français ont été expertisés par la DGE selon une logique de guichet : le ministère chargé de l'économie a réalisé l'expertise technique des projets de R&D et de première industrialisation et a demandé des amendements directement aux porteurs. **Il n'y a pas eu de recours à une expertise indépendante externe ni d'évaluation formalisée des projets. Selon la DGE, aucun projet après discussions n'a été refusé.**

Les montants d'aide ont été déterminés selon les besoins remontés par les acteurs, et recalibrés en fonction de la disponibilité budgétaire. Le montant et la répartition des financements entre les acteurs ont été validés en réunion interministérielle en décembre 2017 et juin 2018 (cf. 2.1.1.).

Une fois validés au niveau national, les projets ont été transmis par la DGE à la commission européenne, qui a procédé à leur instruction selon les critères de sélection des PIIEC (décrits dans la partie 1.2.1).

### 2.2.2. Le suivi du programme, fondé sur une comitologie complexe, s'est déroulée en pratique sous le quasi-monopole de la DGE

**Le pilotage du programme Nano 2022 est essentiellement assuré par la DGE, qui a organisé une gouvernance via trois instances nationales principales**, présentées dans la convention entre l'État et la CDC du 31 décembre 2019 :

- ◆ le comité de pilotage (COPIL), composé de représentants des financeurs, du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, ainsi que du secrétariat général pour l'investissement ;
- ◆ le comité d'orientation stratégique (COOR), composé des six chefs de file industriels, du CEA et du CNRS, qui adresse des recommandations au COPIL ;
- ◆ un dispositif d'expertise (DISEXP), comité composé d'experts de la DGE et des institutions représentées au COPIL, chargé d'instruire les éléments permettant d'éclairer les décisions du COPIL.
- ◆ A ces instances nationales s'ajoutent des comités de pilotage locaux pour coordonner l'action des collectivités locales et celle de l'État.

Bien que financeur du programme via le FII, Bpifrance n'a pas participé à la gouvernance de Nano 2022.

Les chefs de file industriels et le CEA-Leti adressaient annuellement un rapport technique et un rapport financier à la DGE. La direction réalisait l'instruction des documents transmis, qu'elle compilait dans un rapport d'instruction :

- ◆ pour le rapport technique, il s'agit de vérifier que les projets réalisés correspondent à ceux actés dans le PIIEC, et que les jalons annuels ont été atteints. Ce travail est réalisé par les chargés de mission du bureau électronique de la DGE, et examiné dans le cadre du DISEXP, sans apport externe d'expertise indépendante aux projets ;
- ◆ pour le rapport financier, la DGE vérifie la cohérence des dépenses reportées avec le projet.

Les autres institutions représentées au COPIL étaient destinataires d'une version provisoire du rapport d'instruction de la DGE, sur laquelle elles étaient invitées à réagir. Ce rapport et la décision de versement du financement annuel étaient soumis au COPIL pour validation. Les administrations représentées au COPIL jugent appropriée la quantité d'information qui leur étaient rendues disponibles tout au long du programme.

Les rapports d'instruction présentés pour validation au DISEXP sont détaillés et résume les rapports techniques fournis par les chefs de file. Ils actent les inflexions du programme, assez nombreuses, et parfois d'importance, comme indiqué au 1.4. On notera que ces rapports se concluent toujours par l'acceptation des travaux (et donc le paiement annuel des montants prévus dans les conventions).

**Les collectivités territoriales qui ont octroyé des aides aux partenaires du programme Nano 2022 étaient réunies dans un comité annuel** pour échange d'information avec la DGE sur l'avancée des projets. Concernant les différentes sources de financement, la DGE devait assurer la coordination de l'ensemble du soutien au périmètre Nano 2022 pour assurer un fonctionnement optimisé et éviter les redondances ou carences.

Trois options ont été proposées aux collectivités pour le conventionnement :

- ◆ le conventionnement bilatéral libre entre l'acteur et la collectivité. Dans ce cas, l'État reçoit uniquement les éléments nécessaires à la notification à la commission européenne ;
- ◆ le conventionnement trilatéral entreprise, collectivité territoriale, État, avec expertise technique déléguée à l'État (DGE) et suivi administratif et financier opéré par la collectivité ;

## Annexe I

- ◆ le conventionnement « clefs en main » sur la base d'une convention-type annuelle trilatérale dans laquelle la collectivité peut insérer ses clauses propres, les services de l'État en région et la DGE prennent en charge le pilotage du suivi administratif et financier des projets, ainsi que l'expertise technique des travaux réalisés.

La DGE proposait une gouvernance déclinée à l'échelon local avec chacune des collectivités territoriales engagées dans le plan, afin de suivre spécifiquement les projets de son territoire. **La DGE n'a pas d'action sur les conventions qui ne font pas intervenir l'État, et elle n'a pas la vision exhaustive des financements accordés par les collectivités territoriales aux projets du programme Nano 2022.**

**Concernant le suivi financier, les documents budgétaires annexés aux projets de loi de finances et aux projets de loi de finances rectificatives ne permettent pas d'avoir une vision précise de l'engagement et des décaissements des crédits dédiés au programme Nano 2022 :**

- ◆ les projets annuels de performance (PAP) et les rapports annuels de performance (RAP) du programme 191 « recherche duale (civile et militaire) » n'évoquent pas le programme Nano ;
- ◆ les PAP et les RAP du programme 144 « environnement et prospective de la politique de défense » décrivent les transferts d'autorisations d'engagement (AE) et de crédits de paiement (CP) au titre du plan Nano 2022 vers le programme 192, mais en 2019 ces crédits ont été mutualisés avec les crédits dédiés aux pôles de compétitivité et au dispositif RAPID<sup>19</sup> (cf. tableau 13) ;
- ◆ le programme Nano 2022 est financé sur l'action n° 3 « soutien de la recherche industrielle stratégique » du programme 192. Cette action porte les dépenses des dispositifs du FCE (fonds de compétitivité des entreprises), dont le programme Nano 2022, du dispositif RAPID<sup>20</sup> (financé par des crédits transférés du ministère des armées jusqu'à 2020, date de sa mise en extinction sur le programme) et du FUI<sup>21</sup> (fonds unique interministériel des pôles de compétitivité), dispositif mis en extinction depuis 2019 sur le programme. Le niveau de granularité budgétaire le plus fin correspond à l'action n°3 : il n'est pas possible d'identifier les crédits dédiés uniquement à Nano 2022.

**Tableau 13 : Montants transférés du programme 144 au programme 192 au titre du plan Nano 2022**

Année	AE (en M€)	CP (en M€)	Remarque
2018	0	0	-
2019	51,8	42	Ces montants sont mutualisés avec les pôles de compétitivité et le dispositif RAPID.
2020	49,6	3,4	-
2021	0,1	6	-
2022	0	10,4	-

<sup>19</sup> Le dispositif RAPID (Régime d'Appui à l'Innovation Duale) est un dispositif de subvention de projets d'innovation duale portés par une entreprise d'effectif consolidé de moins de 2000 salariés, seule ou en consortium.

<sup>20</sup> Le dispositif RAPID (Régime d'Appui à l'Innovation Duale) est un dispositif de subvention de projets d'innovation porté par l'agence d'innovation de la défense. Les projets soutenus par l'agence doivent permettre d'une part la levée de verrous techniques ou technologiques, et d'autre part un dépassement significatif de l'état de l'art. Le niveau de maturité des travaux doit relever de la recherche industrielle (verrous technologiques, Technology Readiness Levels-TRL 3 à 5) ou du développement expérimental (verrous techniques, TRL 6 à 7).

<sup>21</sup> Le Fonds unique interministériel (ou FUI) était un programme destiné à soutenir la recherche appliquée, pour aider au développement de nouveaux produits et services susceptibles d'être mis sur le marché à court ou moyen terme. Il permettait de financer les projets de R&D dits « collaboratifs » (associant par exemple de grandes entreprises, des PME et des laboratoires) aidés par des pôles de compétitivité

## Annexe I

Année	AE (en M€)	CP (en M€)	Remarque
2023	0	15,5	-

Source : PAP et RAP 2018 à 2023 du programme 144

Seuls les RAP 2020 à 2023 du programme 876, qui porte uniquement le prêt accordé à Soitec, permettent d'avoir une vision précise de l'engagement et du décaissement des crédits dédiés.

### 3. Le soutien public français et européen accordé à l'industrie des semi-conducteurs a continué après la fin du programme Nano 2022 en décembre 2022

#### 3.1. Les initiatives européennes ont changé d'échelle depuis le début de l'année 2023, dans un contexte international dynamique de soutien public aux entreprises de la filière

##### 3.1.1. Le second PIIEC microélectronique, validé par la commission européenne le 8 juin 2023, élargit le nombre de pays et d'entreprises partenaires, et triple le financement public accordé au secteur

Le second PIIEC sur les semi-conducteurs, dit PIIEC ME-CT, élargit le champ à la microélectronique et à la connectivité.

**Le processus de conception du PIIEC ME-CT a duré deux ans et sept mois.** Les discussions ont commencé en décembre 2020 par une déclaration sur une initiative européenne commune sur les technologies des processeurs et semiconducteurs réunissant 22 États membres. Les appels à manifestation d'intérêt ont eu lieu entre mars et septembre 2021. Les réunions techniques de conception du PIIEC, démarrées en décembre 2021, ont conduit au dépôt du « chapeau » auprès de la commission européenne en mars 2022. L'instruction et l'amendement des projets se sont tenues jusqu'à mars 2023, pour une validation finale du PIIEC ME-CT en juin 2023. L'instruction par la CE a conduit à une réduction notable du nombre de projets entre la pré-notification (114 dossiers pré-notifiés) et la notification (67 dossiers).

**Le PIIEC ME-CT, qui permet de financer des projets de R&D et de FID, réunit quatorze pays :** l'Allemagne, l'Autriche, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Italie, Malte, les Pays-Bas, la Pologne, la République Tchèque, la Roumanie et la Slovaquie. Ses objectifs sont de :

- ◆ coordonner les feuilles de route technologiques et les stratégies nationales de recherche et développement en microélectronique et technologies de communication ;
- ◆ créer des solutions de microélectronique et de connectivité au-delà de l'état de l'art ;
- ◆ contribuer au premier déploiement industriel de technologies « More-than-Moore », et « Beyond Moore »<sup>22</sup> (cf. annexe III) ;
- ◆ développer des puces microélectroniques plus efficaces et plus économes en ressources ;
- ◆ établir des normes européennes pour accroître la résilience des données et la cybersécurité à tous les niveaux de la chaîne de valeur du secteur microélectronique et des technologies de la communication ;
- ◆ contribuer au développement des compétences et des qualifications, pour favoriser l'attractivité de l'UE et soutenir de nouveaux emplois qualifiés.

<sup>22</sup> Les approches « Beyond Moore » cherchent à fusionner les deux concepts « More Moore » de miniaturisation des puces microélectronique et « More-than-Moore » de diversification des fonctionnalités des puces.

## Annexe I

Le PIIEC ME-CT n'est pas décliné selon des champs technologiques d'intérêt comme le PIIEC ME, mais a une orientation plus large qui inclut l'ensemble de la chaîne de valeur, des matériaux à l'intégration des systèmes selon quatre fonctions des puces :

- ◆ capter (« *sense* ») de l'information en acquérant du signal extérieur ;
- ◆ penser (« *think* ») l'information captée et décider en conséquence ;
- ◆ agir (« *act* ») en générant un signal ;
- ◆ communiquer (« *communicate* ») en diffusant l'information.

Le PIIEC ME-CT s'inscrit dans la continuité du PIIEC précédent en poursuivant :

- ◆ le développement des puces mobilisant les matériaux composites comme le carbure de silicium (Soitec), pour l'amélioration des performances des véhicules électriques ;
- ◆ l'amélioration des performances des capteurs optiques (LYNRED), mécaniques ou magnétiques, pour l'IA embarquée ;
- ◆ le développement des fonctionnalités du FD-SOI (STMicroelectronics, Soitec) en y ajoutant des capacités informatiques intégrées pour l'internet des objets ;
- ◆ les travaux sur l'amélioration des équipements optiques avancés pour permettre aux machines de lithographie de graver des nœuds de 1 nm (pas d'acteur français impliqué).

56 entreprises (listées dans la figure 6) participent au PIIEC ME-CT. Une quarantaine d'institutions supplémentaires comme des universités, des organismes de recherche (dont le CEA-Leti) et des entreprises situées dans cinq autres États membres de l'UE (Belgique, Hongrie, Lettonie, Portugal et Slovénie) et en Norvège, sont partenaires associés du PIIEC. Les acteurs français sont plus nombreux que dans le PIIEC précédent, et participent à tous les axes du PIIEC ME-CT (cf. tableau 14).

**Tableau 14 : Participation des industriels français aux deux PIIEC microélectroniques et aux axes du PIIEC ME-CT**

Acteur	Participant au PIIEC ME (O/N)	Participant au PIIEC ME-CT (O/N)	Participant à l'axe "Sense"	Participant à l'axe "Think"	Participant à l'axe "Act"	Participant à l'axe "Communicate"
Airbus	N	O	N	N	N	O
Aledia	N	O	N	N	O	N
Continental	N	O	N	O	O	N
LYNRED	O	O	O	N	N	N
Murata	O	N	N	N	N	N
Orange	N	O	N	N	N	O
Renault	N	O	N	N	O	N
Soitec	O	O	N	O	O	O
STMicroelectronics	O	O	O	O	O	O
Teledyne	N	O	N	O	N	N
Valeo	N	O	N	N	O	N
Vitesco	N	O	N	N	O	N
X-FAB	O	O	O	O	O	O

*Source : Mission d'après les notifications des PIIEC ME et PIIEC ME-CT.*

Figure 6 : Ecosystème du PIIEC ME-CT (2023)



Source : Communiqué de presse de la commission européenne sur le PIIEC ME-CT du 8 juin 2023

## Annexe I

**Les projets proposés représentent un montant total de 18,5 Md€, dont un financement maximal des États membres de 8,1 Md€** (cf. tableau 15). Les trois principaux pays du PIIEC ME de 2018 en termes de montant sont à nouveau les acteurs principaux du PIIEC ME-CT. Les projets portés par des partenaires allemands représentent la moitié de l'assiette des projets du PIIEC (soit 9,3 Md€) et 55 % de l'aide publique accordée (soit 4,5 Md€). La France est le deuxième pays en termes de montant d'assiette des projets (3,5 Md€) et la part de financement public (1,0 Md€). L'Italie porte des projets pour 2,3 Md€, dont 1,0 Md€ de financement public.

**Les projets portés par la France dans le PIIEC ME-CT sont plus ciblés sur la R&D que dans le premier PIIEC** : la R&D représente 64 % du montant total des projets français du PIIEC de 2023, contre 47 % dans le précédent PIIEC.

**Tableau 15 : Participation des États membres au PIIEC ME-CT (2023)**

Pays	Assiette du projet (en M€)	Montant de l'aide d'État (en M€)	Remarque
Allemagne	9 347	4 506	-
Autriche	491	256	-
Espagne	735	406	-
Finlande	150	48	Le montant de l'assiette du projet est une estimation
France	3 554	1 014	-
Grèce	19	19	-
Irlande	350	85	Le montant de l'assiette du projet est une estimation
Italie	2 271	986	-
Malte	150	60	Le montant de l'assiette du projet est une estimation
Pays-Bas	475	257	-
Pologne	250	103	Le montant de l'assiette du projet est une estimation
République Tchèque	100	56	-
Roumanie	449	196	-
Slovaquie	179	139	-
<b>Total</b>	<b>18 521</b>	<b>8 131</b>	-

*Source : Notification du PIIEC ME-CT du 8 juin 2023 C(2023) 3817 final.*

**Les industriels recevant plus de 50 M€ d'aide publique sont soumis à une clause de récupération (« claw back »)**, qui impose le remboursement partiel ou total de l'aide en cas de surplus constaté *ex-post*. Les projets au-dessus de ce seuil représentent 86 % de l'aide publique octroyée. Cette clause, qui n'existait pas dans le premier PIIEC sur la microélectronique, a été incluse dans tous les PIIEC qui ont suivi. **Pour la France, les entreprises Aledia, Orange, Soitec et STMicroelectronics sont soumises à cette clause de récupération.**

**Les appels à projets de R&D entre acteurs privés et publics continuent, portés dans le cadre de l'entreprise commune « Chips » (Chips JU)**, qui a pris le relai de l'entreprise commune KDT en 2022. Comme pour les entreprises communes précédentes, les projets sélectionnés par Chips JU font l'objet d'un co-financement par la commission européenne qui vient abonder les engagements nationaux.

En complément, les acteurs académiques du secteur des semi-conducteurs peuvent toujours être soutenus pour leurs projets de recherche fondamentale par les bourses du conseil européen de la recherche (ERC), qui existent sans discontinuer depuis 2007. En dehors des PIIEC et des entreprises communes, les petits projets de R&D (quelques dizaines de milliers d'euros) portés par des PME peuvent être co-financés par le conseil européen de l'innovation, en action depuis 2016.

### 3.1.2. Le règlement européen sur les semi-conducteurs, dit « *Chips act* », entré en vigueur le 21 septembre 2023, autorise les financements publics dédiés au renforcement des capacités de production en Europe et introduit des exigences de sécurisation de la production destinée au marché commun

Les difficultés d'approvisionnement en composants électroniques rencontrées durant la crise sanitaire de 2020 ont mis en lumière la dépendance de l'UE aux importations asiatiques de semi-conducteurs. Dans son discours sur l'état de l'Union du 15 septembre 2021, la présidente de la commission européenne a annoncé une législation européenne sur les semi-conducteurs visant à **rendre le marché commun plus résilient dans le domaine des technologies des semi-conducteurs**. Le règlement « *établissant un cadre de mesures pour renforcer l'écosystème européen des semi-conducteurs* », dit « *Chips act* », est entré en vigueur le 21 septembre 2023.

En complément du PIIEC ME-CT qui soutient exclusivement des projets de R&D et de FID sur des technologies innovantes, le *Chips act* se concentre sur le renforcement des capacités européennes de production de puces microélectroniques. Le règlement participe à l'atteinte de l'objectif fixé en 2022 dans le programme d'action de l'UE pour la décennie numérique, qui vise à ce que 20 % de la production mondiale de puces en valeur soit réalisée dans l'UE en 2030 (contre 10 % en 2020).

**Le *Chips act* établit un conseil européen des semi-conducteurs**, composé de représentants des États membres et présidé par la Commission, en charge de faciliter la coopération entre les États membres et avec les pays tiers de la chaîne de valeur des semi-conducteurs, notamment dans le contexte de la mise en place de restrictions à l'exportation de pays tiers. Ce conseil est aussi chargé de la réalisation d'une cartographie du secteur des semi-conducteurs et d'une analyse des forces et des faiblesses de l'UE.

**Le *Chips act* met en place l'initiative « *Chips for Europe* »** qui a les cinq objectifs opérationnels suivants :

- ◆ la mise en place d'une plateforme de conception virtuelle disponible dans toute l'UE ;
- ◆ l'amélioration et le développement de nouvelles lignes pilotes avancées (TRL 4 à 7) co-financées par l'UE, les États membres et des investisseurs privés (via Chips JU rattaché à Horizon Europe, partie « Chips for Europe initiative ») ;
- ◆ le renforcement des capacités pour accélérer le développement des puces quantiques et des technologies associées aux semi-conducteurs ;
- ◆ la mise en place d'un réseau de centres de compétences dans l'ensemble de l'Union ;
- ◆ la création d'un fonds pour les semi-conducteurs au titre du fonds InvestEU<sup>23</sup> pour faciliter l'accès au financement par emprunt et aux fonds propres, en particulier pour les jeunes pousses, les scale-ups, les PME et les petites entreprises de taille intermédiaire.

---

<sup>23</sup> Le programme InvestUE est une garantie de l'UE de 26,2 Md€ dédiée aux infrastructures durables, à la recherche, innovation et numérisation, aux PME et aux investissements sociaux et compétences. Il a pris le relai du fonds européen pour les investissements stratégiques (EFSI) qui a existé jusqu'en 2021.

## Annexe I

L'initiative « *Chips for Europe* » doit aussi, selon les termes du règlement « *être utilisée pour remédier d'une manière proportionnée et efficace au regard des coûts et des défaillances des marchés ou à une inadéquation de ceux-ci en matière d'investissements du fait de la forte intensité en capital, du risque élevé et de la complexité que présente l'écosystème des semi-conducteurs* ». Cette disposition **autorise le financement public de projets d'industrialisation et de production de masse pour le secteur des semi-conducteurs**. Le financement public est autorisé **lorsque la ligne de production est une installation « pionnière » pour l'UE**, c'est-à-dire qu'elle apporte un élément innovant dans le marché intérieur en ce qui concerne les processus de fabrication ou le produit final, qui peut mobiliser des puces matures ou de pointe.

L'entreprise commune *Chips joint undertaking* (Chips JU), créée en 2022, est le vecteur d'action de l'initiative « *Chips for Europe* ». La Chips JU se décompose ainsi en trois vecteurs d'action :

- ◆ (i) la partie de l'initiative « *Chips for Europe* », rattachée à deux programmes différents :
  - la partie rattachée au programme pour une Europe numérique soutient l'augmentation du capacitaire via les centres de compétence, les lignes pilotes et les plateformes de conception ;
  - la partie rattachée à Horizon Europe soutient la R&D sur les lignes pilotes identifiés par l'initiative, dans une logique d'innovation dirigée ;
- ◆ (ii) le dispositif « *hors Initiative* » rattaché à Horizon Europe, soutient la R&D sur les thématiques précédemment portées par l'entreprise commune KDT, dans une logique d'innovation non dirigée (bottom-up).

Les taux de financement par la commission européenne des projets sélectionnés vont jusqu'à 50 % pour les subventions dans le cadre du programme pour une Europe numérique (capacitaire), et jusqu'à 100 % pour les subventions dans le cadre d'Horizon Europe (R&D).

(i) la partie relative à l'initiative « *Chips for Europe* » est dotée de 2,3 Md€ de crédits de la commission européenne pour la période 2023-2027.

En 2023, les appels à projets (de capacitaire et de R&D) concernaient les lignes pilotes pouvant produire :

- ◆ des transistors en silicium sur isolant entièrement appauvri (FD-SOI) en technologie 7 nm, remporté par le CEA-Leti pour un montant maximum de financement de la commission européenne de 420 M€ ;
- ◆ des machines de photolithographie permettant de réaliser des nœuds de gravure inférieurs ou égaux à 2 nm, remporté par l'Imec pour un montant maximum de financement de la commission européenne de 700 M€ ;
- ◆ de l'intégration et l'assemblage des systèmes hétérogènes, remporté par le Fraunhofer pour un montant maximum de financement de la commission européenne de 370 M€ ;
- ◆ des semiconducteurs à grand gap (composants de puissance), remporté par l'université de Tampere pour un montant maximum de financement de la commission européenne de 180 M€.

Soit 1,67 Md€ de financement de la commission européenne alloués lors de ces appels.

Les appels à projets lancés en 2024 par l'initiative concernent :

- ◆ la mise en place de centres de compétence et d'un réseau européen de coordination sur les puces, dotée de 120 M€ ;
- ◆ la mise en place d'une plateforme de conception de puces, dotée de 25 M€ ;
- ◆ le capacitaire et la R&D sur une ligne pilote de circuits intégrés photoniques (technologies quantiques), dotés de 190 M€ ;

## Annexe I

- ◆ l'établissement d'un accord-cadre de partenariat pour le développement de la technologie des puces quantiques sur deux types de lignes pilote (de stabilité et de haute qualité à ions piégés), sans financement associé.

Soit 335 M€ de crédits de la commission européenne. Ainsi, 2,0Md€ (soit 86 % de l'enveloppe disponible) ont été engagés lors des deux premières années de l'initiative qui va jusqu'en 2027.

(ii) Le dispositif hors initiative reprend les dispositions et les conditions d'éligibilité de l'entreprise commune KDT. Le financement communautaire s'additionne aux engagements nationaux pris par les États membres. En 2023 et 2024 le dispositif hors initiative a consisté en trois appels à projets :

- ◆ un appel pour des actions d'innovation (TRL élevés) ;
- ◆ un appel pour des actions de recherche et d'innovation (TRL faibles) ;
- ◆ un appel qui inclut une action de recherche et d'innovation et deux actions de coordination et de soutien.

La thématique générale est ouverte : les projets doivent contribuer au renforcement de la compétitivité industrielle, de l'innovation et au transfert de l'innovation des organismes de recherche vers les PME et les grandes entreprises dans le secteur des semi-conducteurs.

En 2023, ces appels étaient dotés de 317,7M€ de la commission européenne. Les trois principaux pays en budgets nationaux étaient l'Allemagne (32 M€), les Pays-Bas (30 M€) et la France (30 M€). En 2024, ces appels sont dotés de 216 M€ de la commission européenne. Les principaux pays en budgets nationaux engagés sont l'Allemagne (32 M€), les Pays-Bas (25 M€) et l'Italie (22 M€). L'engagement français est plus limité, à 10 M€.

En 2023 et 2024, les critères d'éligibilité fixés par la France aux candidats nationaux exigent que les projets présentés soient déjà inclus dans le PIIEC ME-CT ou lauréats d'un appel à projet national ou régional. Il s'agit d'une particularité française, les autres pays participants n'imposent pas de critères équivalents.

Enfin, le Chips act établit des dispositions de réaction aux crises d'approvisionnement en semi-conducteurs. **Ces dispositions imposent aux fonderies aidées financièrement par les États membres dans le cadre du Chips act de traiter de manière prioritaire les commandes de produits nécessaires au marché commun en cas de crise.** Ce principe peut être imposé à d'autres entreprises de semi-conducteurs qui ont accepté cette possibilité dans le cadre de l'octroi d'un soutien public.

Le Chips act crée ainsi quatre dispositifs supplémentaires de financement public à destination du secteur microélectronique. **À la date de la mission, sept dispositifs de soutien européens distincts à la filière des semi-conducteurs sont en vigueur, contre deux en 2018 à la date du lancement du programme Nano 2022 (la JU ECSEL et le PIIEC-ME).** Les dispositifs de soutien européens actuels et passés (depuis 2007) sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Annexe I

**Tableau 15 : Dispositifs de soutien de l'UE à la filière des semi-conducteurs depuis 2007**

Statut	Programme cadre	Vecteur de financement	Type de financement	Période	Thématique	Typologie de projets aidés	Financement de l'UE	Remarques
En cours	-	Conseil européen de la recherche (ERC)	Subventions	2007-	Non thématique	Recherche académique	Oui	-
	Horizon 2020 puis Horizon Europe	Conseil européen de l'innovation (EIC)	Subventions et capital risque	2016-2028	Non thématique	R&D (PME)	Oui	A financé deux projets sur les semi-conducteurs, portés par une PME espagnole en 2019 et en 2016 par une PME anglaise, pour une contribution de 50 000 € chacun
	InvestEU	Fonds pour les semi-conducteurs	Prêts et capital risque	2022-	Chaîne de valeur des semi-conducteurs	R&D et industrialisation (PME et ETI)	Oui	-
	Programme pour une Europe numérique	Chips joint undertaking (JU) - Chips for Europe Initiative	Subventions	2023-2027	Chaîne de valeur des semi-conducteurs	Industrialisation et production de masse	Oui	-
	Horizon Europe	Chips JU - "non-Initiative"	Subventions	2023-2027	Chaîne de valeur des semi-conducteurs	R&D	Oui	-
	Horizon Europe	Chips JU - Chips for Europe Initiative	Subventions	2023-2028	Chaîne de valeur des semi-conducteurs	R&D	Oui	-
	-	PIIEC ME-CT	Subventions, avances remboursables et prêts	2023-2029	Microélectronique et technologies de la communication	R&D et FID	Non	-

### Annexe I

Passés	-	ARTEMIS JU	Subventions	2008-2014	Systèmes et intelligence embarqués	R&D	Oui	-
	-	ENIAC JU	Subventions	2008-2014	Nano électricité	R&D	Oui	-
	Horizon 2020	ECSEL JU	Subventions	2014-2020	Composants nano/microélectroniques, logiciels et systèmes	R&D	Oui	Né de la fusion des JU ARTEMIS et ENIAC
	-	PIIEC ME	Subventions et prêts	2018-2022	Microélectronique	R&D et FID	Non	-
	NextGenerationEU	Recovery and resilience facility (RRF) funding	Subventions et prêts	2020-2023	Non thématique	Infrastructures	Non	A financé un seul projet sur les semi-conducteurs : l'usine de STMicroelectronics en Sicile pour 730 M€ (dont 292,5 M€ de l'État italien)
	Horizon Europe	Key Digital Technologies (KDT) JU	Subventions	2021-2022	Composants nano/microélectroniques, logiciels et systèmes	R&D	Oui	Le Chips act a transféré les activités de KDT JU dans l'axe "non-Initiative" de Chips JU

*Source : Mission d'après les communications de la commission européenne.*

### **3.2. La stratégie d'accélération électronique de France 2030 dédie une enveloppe totale de 4,8 Md€ à la filière des semi-conducteurs**

#### **3.2.1. Le plan France 2030 poursuit le soutien à la filière avec des financements accordés selon le principe du gré-à-gré, mais avec des objectifs initiaux clairement établis et une gouvernance simplifiée**

Le plan d'investissement France 2030 a pris le relais des programmes Nano à partir de 2023 pour le soutien public à la filière des semi-conducteurs. Le deuxième levier (sur six) du plan France 2030 porte sur l'industrie électronique, afin de « *sécuriser les composants, notamment dans l'électronique et la robotique, qui sont indispensables à l'industrie de demain, et où nous avons un retard à rattraper* ». L'objectif associé est de doubler la production française de composants électroniques d'ici 2030.

Le principal vecteur de financement de ce levier est la stratégie d'accélération (SA) « *électronique* » dotée de 4,8 Md€, en complément des actions de formation financées via le dispositif transversal « *compétences et métiers d'avenir* » (CMA). La SA électronique contient de grands dossiers d'investissement à destination de la filière des semi-conducteurs selon trois objectifs :

- ◆ maintenir des capacités françaises de production de composants semi-conducteurs ;
- ◆ préserver notre avantage technologique sur les segments où la France dispose d'atouts, notamment pour les applications automobile ;
- ◆ préparer les prochaines ruptures.

Au total, 4,8 Md€ sont dédiés au soutien de la filière des semi-conducteurs (cf. tableau 16). A la date de la mission, la quasi-intégralité des crédits sont engagés : 46 M€ dédiés au financement de projets de R&D sélectionnés par la Chips JU restent disponibles.

Les principaux dispositifs de la SA électronique sont :

- ◆ le projet d'augmentation du capacitance Liberty pour 2,9 Md€ ;
- ◆ les financements nationaux du PIIEC ME-CT pour la R&D et le premier déploiement industriel de technologies innovantes pour 1,1 Md€ ;
- ◆ le projet Nextgen de soutien à la recherche de pointe, pour 450 M€.
- ◆ A l'exception des guichets iDemo qui sont des appels à projets ouverts, les financements de la SA électronique ont été accordés sur un principe de gré-à-gré. En complément des dispositifs présentés au tableau 16, un guichet supplémentaire à destination des petites entreprises était prévu dans la maquette initiale de la SA. Celui-ci a été supprimé en début d'année 2024 suite à la réduction des crédits de France 2030. Ainsi, les outils de financement de la SA sont destinés à des acteurs de grande taille. Les plus petites entreprises doivent nécessairement s'associer à un industriel plus gros pour bénéficier d'une aide.

Tableau 16 : Dispositifs de la SA électronique de France 2030

Objectif	Dispositif / projet	Chefs de file	Montant (en M€)
Maintenir des capacités françaises de production de composants semi-conducteurs	Liberty	STMicroelectronics et GlobalFoundries	2 896
Préserver notre avantage technologique sur les segments où la France dispose d'atouts	PIIEC ME-CT	Douze partenaires industriels français et le CEA-Leti (cf. 3.1.1)	1 134
	Projets de R&D connexes au PIIEC (Chips JU)		115
	iDemo	Entreprises, éventuellement associés à des académiques	38
	Contribution du PIA 4 à Nano 2022	Six industriels et le CEA-Leti	50
Préparer les prochaines ruptures	Next Gen	CEA-Leti	450
	Programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) électronique	Équipes académiques	83
<b>Total</b>			<b>4 766</b>

Source : DGE

La gouvernance de la stratégie d'accélération s'inscrit dans le processus mis en place pour l'ensemble de France 2030 : un comité de pilotage interministériel (CPMo), présidé par la DGE et la DGRI expertisent et rendent un avis sur les dossiers présentés au financement. Le SGPI, investi d'une délégation du Premier ministre, prend la décision finale.

Cependant, la construction du PIIEC ME-CT a démarré en 2020, avant la mise en place des gouvernances de France 2030. Un appel à manifestation d'intérêt (AMI) a été lancé par la DGE auprès de la filière des semi-conducteurs en octobre 2020. A la différence du PIIEC ME, les réponses à l'AMI ont été évalués par des experts extérieurs et pas uniquement par l'administration. Les propositions sélectionnées ont constitué le dossier de pré-notification du PIIEC à la Commission européenne, qui a validé les axes stratégiques. L'AMI a ainsi identifié les entreprises de grande taille susceptibles de porter des projets, auxquels se sont associés de plus petits acteurs (industriels ou académiques) dans un second temps, lors de la conception des projets finaux. Les projets finalisés ont été soumis à la DGE par les industriels, qui a vérifié la conformité aux axes stratégiques du PIIEC. Les expertises techniques, économiques et financières des projets ont été réalisées par la Commission européenne, avant la validation finale le 8 juin 2023 (cf. 3.1.1).

L'opérateur des projets de la stratégie d'accélération est Bpifrance, qui assume les tâches de contractualisation et de suivi des projets qui, pour le programme Nano 2022 étaient réalisées par la DGE (et la Caisse des dépôts pour une partie de la contractualisation). Les collectivités territoriales ne sont pas impliquées dans les financements de la SA électronique. Elles sont mobilisées pour les guichets iDemo du plan France 2030, qui financent des projets de R&D locaux de tous les secteurs industriels, mais pour des montants moins importants que ceux des stratégies d'accélération.

### 3.2.2. Les projets financés par la SA électronique prolongent le soutien aux technologies portées par le programme Nano 2022

**Le projet Liberty, porté par les industriels STMicroelectronics et GlobalFoundries SAS,** filiale française du groupe étatsunien GlobalFoundries Inc., a été notifié à la commission européenne le 3 mars 2023. Le projet consiste en la construction d'une installation industrielle commune de puces :

## Annexe I

- ◆ de 28 nm exploitant la technologie FD-SOI augmentées de capacités de radiofréquence, produites par STMicroelectronics ;
- ◆ de technologie CMOS<sup>24</sup> d'une taille non précisée avec mémoire non volatile intégrée répondant aux exigences nécessaires pour les microcontrôleurs industriels et de sécurité automobile, produites par STMicroelectronics ;
- ◆ de technologie BiCMOS<sup>25</sup> d'une taille non précisée pour les technologies radiofréquence à haute performance (comme la 5G), produites par STMicroelectronics ;
- ◆ de 22 nm exploitant la technologie FD-SOI, produites par GlobalFoundries.

La ligne de production sera installée sur le site de STMicroelectronics à Crolles. Ces technologies ont été développées dans le cadre du PIIEC ME. La production de ces puces matures représente une première pour l'Union européenne. Ainsi, le projet Liberty peut percevoir des aides d'État pour de l'industrialisation, grâce aux dispositions introduites par le Chips act (cf. 3.1.2).

Le montant des investissements initiaux pour l'ensemble du projet Liberty est estimé à environ 7,4 Md€, dont 2,9 Md€ d'aide publique française :

- ◆ les investissements de GlobalFoundries représentent 4,3 Md€, dont 1,8 Md€ d'aide publique ;
- ◆ les investissements de STMicroelectronics représentent 3,1 Md€, dont 1,1 Md€ d'aide publique.

Cependant, entre 85 et 90 % des outils sont destinés à être utilisés par les deux partenaires, et seuls 10 à 15 % des équipements seront consacrés à des processus spécifiques à chaque entreprise.

Comme les autres projets financés par la SA électronique, le projet Liberty a été validé par les instances de France 2030, et l'opérateur chargé de la contractualisation est Bpifrance. Le projet fait l'objet de deux types de contrats d'aide : des contrats unilatéraux STMicroelectronics-État et GlobalFoundries-État, et une convention quadripartite entre l'État, Bpifrance, STMicroelectronics et GlobalFoundries. La DGE anime un comité de suivi national, et le préfet de l'Isère anime un comité départemental de suivi.

À la date de la mission, l'entreprise GlobalFoundries signalait ses réserves quant à la réalisation de cet investissement, en raison du ralentissement mondial du marché des semi-conducteurs.

**Le projet Next Gen développe la technologie FD-SOI sur des puces de 10 nm**, permettant de prendre la suite de la miniaturisation des puces FD-SOI menée par STMicroelectronics sur son site de Crolles.



<sup>24</sup> Le CMOS ou métal-oxyde-silicium complémentaire, est la technologie de semi-conducteurs sur laquelle la course à la miniaturisation a été fondée.

<sup>25</sup> Le BiCMOS (CMOS bipolaire) combine la technologie CMOS (utilisées pour les portes logiques simples) avec des transistors bipolaires à jonction (utilisés pour les sections à haute fréquence et analogiques).

## Annexe I

Le projet Nextgen fait partie des quatre lignes pilotes soutenues par l'entreprise commune Chips JU créée par le Chips act européen. A ce titre, elle est financée à hauteur de 450 M€ par des crédits de l'État français, et de 420 M€ par la Commission européenne (cf. 3.1.2).

**Les projets financés par France 2030 peuvent candidater par ailleurs pour recevoir des financements de la commission européenne** (cf. 3.1.2). Les appels à projets 2022 et 2023 des entreprises communes KDT puis Chips (partie « *non initiative* ») ont permis aux **institutions françaises de bénéficier de 83,8 M€ de financements de la commission européenne pour 25 projets de R&D**, préalablement financés par des crédits nationaux dans le cadre du PIIEC ME-CT ou d'autres appels à projets nationaux ou régionaux. La France est le deuxième pays bénéficiaire en termes de montants, après l'Allemagne (95,6 M€) et avant les Pays-Bas (59,7 M€) et la Belgique (29,9 M€).

Enfin, hors SA électronique, le dispositif CMA de France 2030 soutient trois projets portant sur la microélectronique :

- ◆ le projet « I-NOVMICRO #2 » vise à créer un écosystème régional d'une trentaine de partenaires (académiques, entreprises, institutionnels) autour de programmes de formation initiale et continue et d'actions de sensibilisation dans les collèges et les lycées. Il prend le relai du projet « I-NOVMICRO » financé par le PIA 3. D'un montant total de 34 M€, il est porté par le campus industrie du futur Sud situé en région Alpes-Côte d'Azur et est financé par France 2030 pour 15 M€ ;
- ◆ le projet « INFORISM », porté par le groupement de la coordination nationale de la formation en microélectronique et en nanotechnologie (GIP CNFM) propose des plateformes de formation en microélectronique dans les spécialités orientées vers les métiers en tension, avec pour objectif à cinq ans d'atteindre 18 000 personnes formées. Le projet d'un montant total de 40 M€ est financé par France 2030 pour 10 M€ ;
- ◆ le projet « FAME », proposé par l'université Grenoble Alpes, a pour objectif de répondre aux besoins en compétences et en emplois du territoire Grenoble-Valence à court, moyen et long terme en renforçant l'attractivité de la filière électronique par des actions de communication et d'amélioration des formations. Le projet d'un montant total de 10 M€ est soutenu à hauteur de 5 M€ par France 2030.

Les dispositifs CMA sont opérés par la CDC et l'agence nationale de la recherche (ANR).

Des travaux sont en cours au sein de la SA électronique pour établir des propositions d'action ciblant des technologies de rupture, qui ne bénéficient donc pas du soutien historique. La conception de composants pour l'IA, dans laquelle l'UE est peu dynamique, est une piste évoquée. En effet, la conception représente la moitié de la valeur ajoutée de la micro-électronique et est un segment moins capitalistique que la production. À ce jour, aucune action spécifique n'a été initiée.

## **ANNEXE II**

### **Historique des programmes Nano et de leurs évaluations**

# SOMMAIRE

<b>1. LES QUATRE PROGRAMMES NANO MIS EN PLACE DEPUIS 2002 PRENNENT LE RELAIS DU SOUTIEN PUBLIC A LA FILIERE DES SEMI-CONDUCTEURS, ININTERROMPU DEPUIS 1967.....</b>	<b>1</b>
1.1. Le secteur des semi-conducteurs est aidé par des financements nationaux depuis 1967 et par des programmes communautaires européens depuis 1983.....	1
1.2. Trois programmes Nano, axés sur la miniaturisation des puces et sur un petit nombre de bénéficiaires, ont précédé le programme Nano 2022 .....	1
<b>2. LA SUCCESSION DES PROGRAMMES NANO S'EST ACCOMPAGNEE D'UNE AMELIORATION PROGRESSIVE DE LA QUALITE DES EVALUATIONS FINALES DE CES PROGRAMMES.....</b>	<b>5</b>
2.1. L'évaluation du programme Nano 2012 décrit la stabilité du nombre d'emplois sur les sites de STMicroelectronics à Grenoble et Crolles entre 2008 et 2011 et estime à 460 M€ la retombée économique de son activité pour la région .....	5
2.1.1. <i>En 2011, les sites de Grenoble et Crolles de STMicroelectronics avaient une production continue des puces les plus miniaturisées de l'époque, sans précision sur leur compétitivité et leur part de marché à l'international. ....</i>	<i>5</i>
2.1.2. <i>Les achats de biens et de services de STMicroelectronics soutiendraient 2 250 emplois indirects et 8 640 emplois induits dans l'économie régionale en 2011 .....</i>	<i>6</i>
2.2. L'évaluation finale de Nano 2017, fondée sur des analyses descriptives et contrefactuelles, trouve un impact positif sur l'emploi en volume et en montants à partir de 2017, mais pas d'effet sur le chiffre d'affaires et la valeur ajoutée.....	7
2.2.1. <i>L'analyse descriptive explore les conséquences sur l'emploi et le chiffre d'affaires de scénarios alternatifs dans lesquels les technologies dont le développement a été soutenu par le programme n'auraient pas existé.....</i>	<i>8</i>
2.2.2. <i>L'analyse économétrique, qui exclut les chefs de file, met en évidence une augmentation plus forte des emplois de R&amp;D dans le secteur des semi-conducteurs mais aucun effet sur le chiffre d'affaires.....</i>	<i>11</i>
2.3. L'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022 trouve un effet positif sur le développement des partenariats entre acteurs industriels et académiques mais des résultats mitigés sur la structuration de la filière industrielle .....	13
2.3.1. <i>Le rapport de l'Assemblée nationale sur les investissements d'avenir pour le PLF 2021 plaide pour un élargissement des critères des projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) pour permettre le soutien à l'industrialisation.....</i>	<i>13</i>
2.3.2. <i>L'évaluation intermédiaire confiée par la DGE au cabinet Deloitte en 2022 note le retard pris dans l'exécution du programme Nano 2022 et des difficultés de recrutement.....</i>	<i>15</i>
<b>3. LES EVALUATIONS DES PRECEDENTS PROGRAMMES NE SONT PAS SUFFISANTES POUR DRESSER UN TABLEAU FIDELE DE L'IMPACT DES FINANCEMENTS PUBLICS ACCORDES A LA FILIERE PAR LES PROGRAMMES NANO.....</b>	<b>17</b>

## **1. Les quatre programmes Nano mis en place depuis 2002 prennent le relais du soutien public à la filière des semi-conducteurs, ininterrompu depuis 1967**

### **1.1. Le secteur des semi-conducteurs est aidé par des financements nationaux depuis 1967 et par des programmes communautaires européens depuis 1983**

Le soutien public au secteur des semi-conducteurs a débuté en 1967 avec le « *plan calcul* » (1967-1974) visant à la création d'une industrie informatique française. Le volet « *composants* » de ce plan accompagnait la production des transistors nécessaires à la fabrication des ordinateurs, réalisée par une filiale de Thomson et le CEA-Leti, créé l'année du lancement du plan. Entre 1974 et 1977, le secteur des semi-conducteurs n'a pas reçu d'aides publiques.

En 1978, le « *plan circuits intégrés* » d'une durée de cinq ans et financé par le budget annexe des postes, télégraphes et téléphones (PTT), soutient des programmes d'innovation industrielle et la création d'usines dans plusieurs régions françaises. Le soutien public passe à l'échelle européenne en 1983 avec le premier programme communautaire de recherche et de développement et de transfert technologique européen, ESPRIT (1983-1988), qui est dédié aux technologies de l'information. Les programmes européens menés dans le cadre de l'initiative EUREKA « *Joint European Submicron Silicon* » JESSI (1989-1996), MEDEA (1997-2000) puis MEDEA+ (2001-2008) ont ensuite pris le relais du soutien communautaire à la filière. Ils portaient sur des projets internationaux ambitieux dans le domaine des composants électroniques, chaque État finançant les partenaires de son territoire. En France, les crédits étaient pilotés par le ministère chargé de l'industrie.

En parallèle des initiatives européennes, l'État français a établi des contrats quinquennaux en 1990 et 1994 avec STMicroelectronics pour la création de lignes pilotes à Crolles développant des circuits sur des plaquettes de 150 puis 200 mm.

### **1.2. Trois programmes Nano, axés sur la miniaturisation des puces et sur un petit nombre de bénéficiaires, ont précédé le programme Nano 2022**

Le ministère chargé de l'industrie a mis en place quatre programmes « Nano » de soutien à la filière des semi-conducteurs depuis 2002 (cf. figure 1), à destination d'acteurs académiques et industriels. Les quatre programmes, pilotés par la direction générale des entreprises (DGE), ont pour acteurs communs STMicroelectronics et le CEA-Leti.

**Les trois premiers programmes Nano ont principalement porté sur des projets se déroulant dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, et plus particulièrement sur les sites de Grenoble et Crolles de STMicroelectronics.** Conformément à la réglementation européenne sur les aides d'État, Nano 2008, 2012 et 2017 sont des programmes de soutien à des activités de recherche et développement (R&D) menés par des industriels en collaboration avec des laboratoires académiques. Ils ne financent pas l'industrialisation.

## Annexe II

**Le programme Nano 2008 (2002-2007) a accompagné le CEA-Leti et un consortium industriel porté par STMicroelectronics, NXP (ex-division semi-conducteurs de Phillips vendue en 2006) et Freescale (ex Motorola qui a fusionné avec NXP en 2015).** Le programme a soutenu les activités de conception de circuits innovants et de leur production sur des plaquettes de 300 mm par la création d'une ligne-pilote, première de ce type en Europe. Les investissements induits ont permis la construction de l'usine de Crolles 2 (pour un montant total de 1 759 M€) et le renforcement du site de Grenoble de STMicroelectronics (pour un montant total de 123 M€).

**Le programme Nano 2012 (2008-2012) a été construit autour de deux chefs de file industriels, STMicroelectronics et IBM, et un chef de file académique, le CEA-Leti.** Il consistait en la poursuite des efforts de miniaturisation des puces (de 32 nm et 22 nm) et au développement d'applications spécifiques (mémoires embarquées et imageurs) en exploitant la proximité entre les activités de STMicroelectronics situées à Crolles pour la production et à Grenoble pour le design et le packaging. Il visait à permettre à **STMicroelectronics de conserver en propre une capacité de production de composants microélectroniques innovants**, et dans le même temps, de mener le **développement du *fully depleted on silicon-on-insulator (FD-SOI)***<sup>1</sup>, une nouvelle technologie introduite par le CEA-Leti.

Le montant total du projet aidé par le programme Nano 2012 s'est élevé à 993 M€. Celui-ci a bénéficié de subventions à hauteur de 354,5 M€, dont 279,6 M€ versés par l'État et 74,9 M€ par les collectivités territoriales de la région Rhône-Alpes (cf. tableau 1), soit un taux d'aide publique de 36 %. Afin de raisonner à périmètre équivalent avec les autres programmes Nano, il convient d'ajouter à ce financement 175 M€ de l'État destinés aux programmes de R&D de l'usine de STMicroelectronics à Crolles portés par le cluster Eureka Catrene<sup>2</sup>, soit une aide publique totale de 529,5 M€, dont 454,6 M€ de l'État, intégralement sous la forme de subventions.

**Tableau 1 : Nombre de bénéficiaires et financement des programmes Nano**

Programme	Nano 2008	Nano 2012	Nano 2017	Nano 2022
Nombre de chefs de file industriels	3	2	1	6
Nombre de partenaires (entreprises et laboratoires)	Non disponible (N.D.)	N.D.	81	67
Montant total des projets aidés (en M€)	1 882	1 168	2 000	2 964,9
dont financement de l'Etat (en M€)	N.D.	454,6	600 <sup>3</sup>	877,9 <sup>4</sup>
dont financement des collectivités territoriales (en M€)	N.D.	74,9	93	74,5

<sup>1</sup> Dans la technologie le FD-SOI, le transistor est gravé sur une fine couche d'oxyde de silicium isolant (non dopé) reposant sur un substrat de silicium et non pas sur du silicium massif. Cela qui améliore le facteur de mérite (vitesse de fonctionnement vs consommation d'énergie).

<sup>2</sup> Le cluster Eureka Catrene (cluster for application and technology research in Europe on nanoelectronics) a existé de 2008 à 2011. Il s'agissait de projets partenariaux européens entre grandes entreprises, PME et laboratoires de recherche dans le domaine de la microélectronique, fondés sur la définition d'une feuille de route technologique qui définit ses principaux domaines stratégiques. Le financement des partenaires français était assuré par le fond de compétitivité des entreprises. Il prenait la suite des clusters JESSI et MEDEA.

<sup>3</sup> Dont 37,15 M€ font l'objet d'une avance récupérable.

<sup>4</sup> Dont 200 M€ sous la forme d'un prêt accordé à Soitec

## Annexe II

*Source : Fiche QP « historique du programme Nano », DGE juillet 2024 ; évaluation finale du programme Nano 2017 ; données de suivi financier du programme Nano 2022 de la DGE.*

**Le programme Nano 2017 (2013-2017) a été porté par STMicroelectronics et le CEA-Leti selon deux axes principaux :**

- ◆ **la maturation de la technologie FD-SOI** pour l'appliquer aux **puces de 14 nm**, associée à l'ouverture **d'une ligne pilote de production sur le site de Crolles** et à l'augmentation capacitaire du site sur ces nouvelles technologies ;
- ◆ le développement d'un **centre de design de composants utilisant la technologie FD-SOI**.

Le programme Nano 2017 a notamment abouti au transfert contre licence des technologies de production du FD-SOI en 22 nm par STMicroelectronics à Globalfoundries et Samsung.

Le financement total de l'État s'est élevé à 600 M€. Le programme est financé par un fond de concours rattaché au programme 192 « *recherche et enseignement supérieur en matière économique et industrielle* » géré par la direction générale des entreprises (DGE) et alimenté notamment par des crédits du deuxième programme d'investissements d'avenir (PIA 2) pour 273,8 M€. **Les financements sont majoritairement sous la forme de subventions (tableau 1) : seuls 37,15 M€ (soit 5,4 % du financement public) font l'objet d'une avance récupérable** (cf. encadré 1).

### Encadré 1 : L'avance récupérable du programme Nano 2017

Le programme Nano 2017 a octroyé 37,15 M€ à STMicroelectronics sous la forme d'une avance récupérable. Le financement devant être reversé à l'administration est calculé selon un barème défini dans la convention du 22 décembre 2014 entre l'État et la Caisse des dépôts et consignations relative au programme d'investissements d'avenir. Ce barème, allant de 0 à 204 % du montant de l'avance, dépend du montant du chiffre d'affaires réalisé entre le 1<sup>er</sup> janvier 2018 et le 31 décembre 2022 grâce aux produits intégrant les technologies développées dans les travaux de R&D du programme Nano 2017 réalisés en 2017.

Le chiffre d'affaires retenu est de 1,887 Md\$, qui correspond à un taux de remboursement de 96 %, soit 35,7 M€. Les lettres de recouvrement ont été adressées à STMicroelectronics en juillet 2024. A la date de la mission, 26,3 M€ ont été reversés à l'État.

*Source : Mission à partir des données de la DGE.*

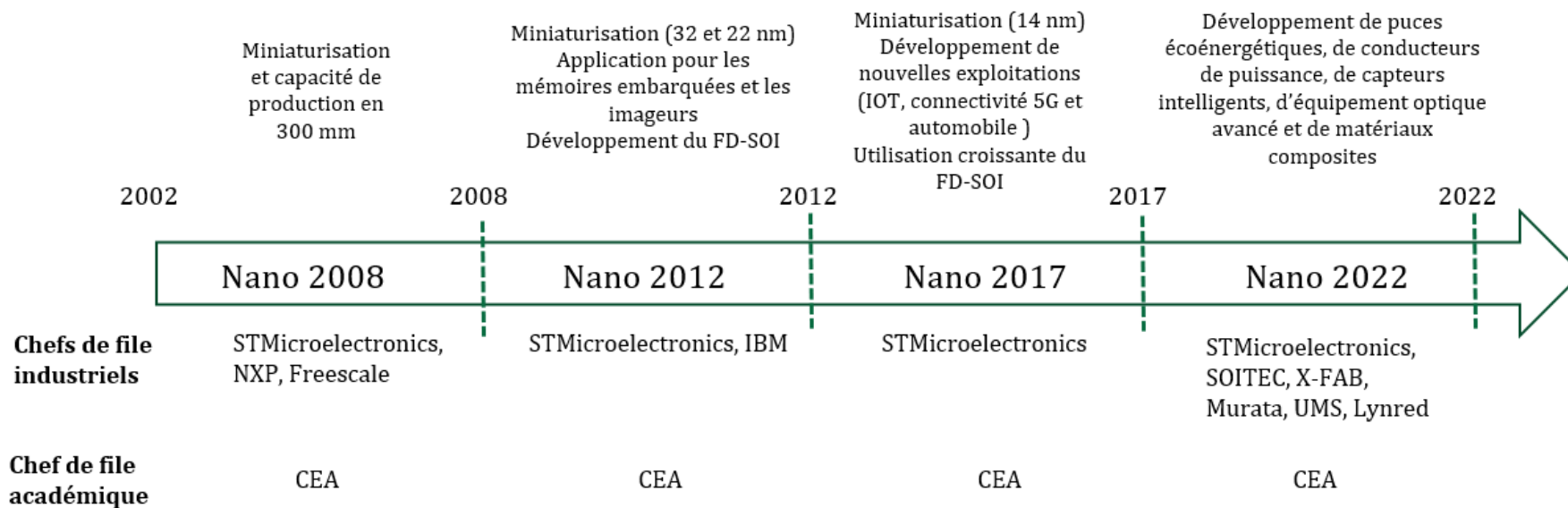
Les conditions du financement de Nano 2017 par le PIA 2 sont décrites dans la *convention du 22 décembre 2014 entre l'État et la Caisse des dépôts et consignations relative au programme d'investissements d'avenir (action : « Nano 2017 »)*. **Elle prévoit la réalisation d'une évaluation finale du programme, menée par un opérateur externe**. Une synthèse de cette évaluation, réalisée en avril 2021, est disponible en source ouverte<sup>5</sup>.

Le programme Nano 2022 est présenté dans l'annexe I.

<sup>5</sup> Synthèse de l'évaluation du programme Nano 2017, GAC groupe, 8 avril 2021.

## Annexe II

**Figure 1 : Objectifs et partenaires des programmes Nano 2008 à 2022**



*Source : Mission à partir de l'évaluation finale du programme Nano 2017 et des avenants à la convention du 29 décembre 2017 entre l'État et la Caisse des dépôts et consignations.*

## 2. La succession des programmes Nano s'est accompagnée d'une amélioration progressive de la qualité des évaluations finales de ces programmes

Aucune évaluation formalisée du programme Nano 2008 n'a été portée à la connaissance de la mission.

### 2.1. L'évaluation du programme Nano 2012 décrit la stabilité du nombre d'emplois sur les sites de STMicroelectronics à Grenoble et Crolles entre 2008 et 2011 et estime à 460 M€ la retombée économique de son activité pour la région

L'évaluation du programme Nano 2012 a été commandée au cabinet Reverdy Associés (situé à Grenoble) par la chambre de commerce et d'industrie (CCI) de Grenoble. Édité en avril 2012, le document nommé « *analyse de l'impact de STMicroelectronics sur l'emploi et le pôle économique Grenoble-Isère* » présente l'écosystème grenoblois des semi-conducteurs et réalise l'estimation des effets économiques directs et indirects (emploi, consommation, recettes fiscales) sur l'ex-région Rhône-Alpes de l'activité de STMicroelectronics, sans modélisation contrefactuelle. **Il ne s'agit pas d'un document d'évaluation de l'impact du soutien public à la filière des semi-conducteurs mais d'un état des lieux à fin 2011 de la performance de STMicroelectronics et de ses retombées socio-économiques.**

#### 2.1.1. En 2011, les sites de Grenoble et Crolles de STMicroelectronics avaient une production continue des puces les plus miniaturisées de l'époque, sans précision sur leur compétitivité et leur part de marché à l'international.

L'un des objectifs du programme Nano 2012 était de **maintenir une capacité de production domestique de puces exploitant les technologies les plus innovantes**. Fin 2011, la production de STMicroelectronics est la suivante :

- ◆ l'usine Crolles 1 produit 7 200 plaques de 200 mm avec une gravure de 120 nm ou plus par semaine ;
- ◆ l'usine Crolles 2 produit 3 500 plaques de 300 mm avec les nœuds de gravure les plus fins pour l'époque (28 nm) par semaine.

Ni la part que cela représente dans la production mondiale ni le chiffre d'affaires associé ne sont précisés. Toute activité confondue, l'évaluation estime que STMicroelectronics est la 7<sup>ème</sup> plus grande entreprises de semi-conducteurs (hors fonderies) en termes de chiffres d'affaires en 2011. Enfin, les activités sur le FD-SOI ne sont pas décrites. Cette évaluation illustre que l'activité de production de puces innovantes a été préservée, mais elle ne permet pas d'apprécier si elle est rentable, pérenne et compétitive.

L'évolution du chiffre d'affaires de STMicroelectronics n'est pas présentée. Le taux de marge de STMicroelectronics entre 2003 et 2010 est comparé à celui d'Intel :

- ◆ le taux de marge d'Intel est en moyenne de 18 % et reste stable sur la période ;
- ◆ le taux de marge de STMicroelectronics se situe autour de 5 % de 2003 à 2006, puis décroît jusqu'à atteindre -14 % en 2009. Il remonte à 8 % en 2010.

**Ainsi, sur la période du programme Nano 2012 la marge financière de STMicroelectronics apparait plus fragile que celle d'Intel.**

**Entre 2008 et 2011, le nombre d'emplois sur les sites de STMicroelectronics de Crolles et de Grenoble est stable autour de 6 000 emplois. Le volume des achats de biens et de services réalisés par les mêmes sites est aussi stable entre 2006 et 2010.** L'évaluation identifie trois causes à la stabilité de ces indicateurs malgré l'aide du programme :

- ◆ l'augmentation du taux de change euro/dollar depuis 2002 a pénalisé STMicroelectronics. En effet, l'entreprise vend l'intégralité de ses productions en dollars, alors que la moitié de ses coûts sont en euros ;
- ◆ la crise économique de 2008 a entraîné une chute de 40 % de l'activité de fonderie pendant quelques mois ;
- ◆ la perte de part de marché de Nokia, qui était le principal client des usines de Crolles, a directement impacté STMicroelectronics.

Enfin, l'évaluation décrit l'écosystème grenoblois composé de 120 entreprises en 2011.

### **2.1.2. Les achats de biens et de services de STMicroelectronics soutiendraient 2 250 emplois indirects et 8 640 emplois induits dans l'économie régionale en 2011**

Le cabinet Reverdy propose une estimation du nombre d'emplois indirects et induits soutenus à partir du nombre d'employés et du volume d'achats de biens et de services par les sites de Grenoble et Crolles de STMicroelectronics.

Les évaluateurs ont conduit des entretiens avec les fournisseurs les plus importants afin d'identifier le nombre d'employés affectés aux commandes de STMicroelectronics. Pour les autres fournisseurs, un ratio entre le nombre d'emplois et le chiffre d'affaires par secteur d'activité a été élaboré. Pour l'emploi dans les laboratoires publics, l'estimation a été réalisée à partir de données déclaratives collectées auprès des laboratoires et de STMicroelectronics. Le volume d'achats utilisé pour le calcul a été lissé sur quatre ans (2007-2010). **L'estimation totale donne 1 900 emplois indirects créés ou soutenus chez les fournisseurs et 350 dans la recherche publique, soit 2 250 emplois indirects.**

À partir des emplois directs et indirects, il est estimé :

- ◆ les salaires nets versés aux employés :
  - à partir de la masse salariale déclarée par STMicroelectronics pour les emplois directs ;
  - à partir d'un salaire moyen estimé à 28 000 € par an pour les emplois indirects ;
- ◆ la taxe professionnelle versée par les entreprises aux collectivités territoriales :
  - à partir des données financières de STMicroelectronics ;
  - à partir du ratio moyen du département pour les fournisseurs ;
- ◆ les prestations sociales versées aux ménages. Les cotisations sociales représentent 83 % des salaires nets des unités de STMicroelectronics à Crolles et Grenoble, qui sont versées aux organismes nationaux de sécurité sociale. Sans précision de la source, le rapport estime que 60 % des cotisations versées bénéficient à la région Rhône-Alpes ;
- ◆ l'impôt sur les sociétés, estimé à partir du ratio d'impôt par emploi au niveau national en 2010.

**Les retombées financières totales de l'activité des sites de Crolles-Grenoble en 2011 s'élèveraient à 460 M€, dont 272 M€ de salaires nets, 38 M€ pour l'État et les collectivités territoriales et 141 M€ de prestations sociales.**

## Annexe II

Les emplois induits sont estimés à partir de la consommation des ménages : les revenus apportés par l'activité de STMicroelectronics dans la région grenobloise étant utilisés en partie pour consommer des biens et services produits dans la région, dont dépendent des emplois.

Le rapport estime que le taux d'épargne des ménages est de 4 %, et que 54 % des consommations des ménages de Rhône-Alpes seraient réalisées dans la région. Dans cette estimation, les ménages auraient à disposition l'ensemble des revenus apportés par l'activité de STMicroelectronics estimés plus haut, même si certaines contributions comme l'impôt sur les sociétés n'est pas directement redistribué. En prenant en compte le multiplicateur keynésien venant de l'effet d'entraînement entre consommation et production, le rapport propose le calcul suivant pour les retombées financières induites :

$$\text{Retombées induites} = 460 \text{ M€} * [(0,54 * 0,96) + (0,54 * 0,96)^2 + (0,54 * 0,96)^3 + \dots]$$

Ainsi, le rapport trouve un impact final sur le PIB local de 493,6 M€. Ce chiffre n'est pas reproductible, le calcul ci-dessus aboutissant à 495,1 M€. Si le multiplicateur keynésien est fréquemment mobilisé en économie pour calculer les effets induits, **les hypothèses de ce calcul qui portent sur la disponibilité du revenu apporté aux ménages par les activités de STMicroelectronics et sur la part de produits locaux dans la consommation entraînent une forte incertitude sur l'estimation des retombées induites.**

Les emplois induits sont calculés à partir d'une ventilation des retombées induites dans les différents secteurs de l'économie, et du montant de valeur ajoutée par emploi par secteur, sans que l'origine des clés de ventilation et du montant de valeur ajoutée ne soit précisée. Cette méthodologie contestable aboutit à 8 790 emplois induits en région Rhône-Alpes.

À partir du solde des cotisations sociales (estimé à 40 % des cotisations versées par les sites de STMicroelectronics à Crolles et Grenoble) et du résidu du taux de fuite de la consommation des ménages (de 46 %, voir ci-dessus), le rapport trouve 565 M€ de PIB induit à l'échelle nationale, soit 8 640 emplois.

### **2.2. L'évaluation finale de Nano 2017, fondée sur des analyses descriptives et contrefactuelles, trouve un impact positif sur l'emploi en volume et en montants à partir de 2017, mais pas d'effet sur le chiffre d'affaires et la valeur ajoutée**

L'évaluation finale du programme Nano 2017 a été commandée par la DGE au groupe Inno TSD/GAC group, en partenariat avec Collaborative People pour un montant de 75 525 €. Les travaux ont démarré en mai 2019 et le rapport a été finalisé en avril 2021. Le pilotage de la prestation était effectué par le service de l'économie numérique (SEN) et la sous-direction de la prospective des études et de l'évaluation économiques (P3E). Le retour d'expérience de la DGE est satisfait de la prestation effectuée, mais indique que le double pilotage a créé des difficultés, les objectifs des deux services n'étant pas systématiquement alignés.

L'évaluation a cherché à quantifier si le soutien public à l'écosystème grenoblois de la nano-électronique à travers le programme Nano 2017 a permis de stimuler l'innovation, de contribuer au développement économique des bénéficiaires, ainsi qu'au développement et au rayonnement du pôle économique Grenoble-Isère.

### 2.2.1. L'analyse descriptive explore les conséquences sur l'emploi et le chiffre d'affaires de scénarios alternatifs dans lesquels les technologies dont le développement a été soutenu par le programme n'auraient pas existé

Le prestataire a conduit des entretiens avec les chefs de file du programme et l'entreprise Soitec pour établir **des couples technologies-produits-production** afin d'identifier le devenir des projets de R&D financés par le programme. À partir des données disponibles, l'évaluation présente :

- ◆ le niveau de maturité exprimé selon le *technology readiness level* (TRL)<sup>6</sup> des innovations soutenues avant et après le programme :
  - les TRL 8 et 9 ont été atteints sur les technologies dites différenciantes ;
  - les TRL 4 ont été atteints pour les projets de recherche ;
- ◆ le nombre de publications et de brevets entre 2012 et 2017 et la place des chefs de file dans le classement français des principaux déposants de brevets :
  - 600 publications et 550 brevets déposés entre 2012 et 2017 sont liés au programme Nano 2017 ;
  - STMicroelectronics est le 13ème déposant français de brevets en 2018 ;
- ◆ l'effet de levier des investissements, à partir de la description de la dépense totale de R&D avec répartition par financeur. **Il est trouvé un multiplicateur de 2,5** : un euro de financement public correspond à un investissement total de 2,5 € dans la R&D, **sans que la causalité puisse être établie** ;
- ◆ les réseaux nationaux et européens constitués pour répondre aux projets européens, jugés performants par les chefs de file ;
- ◆ **l'identification des secteurs utilisateurs des puces produites à partir de la technologie FD-SOI soutenue par Nano 2017, à savoir l'internet des objets, les réseaux télécoms et l'automobile** ;
- ◆ la description du gain de visibilité par le nombre d'évènements organisés au sein de la structure Minatec<sup>7</sup> et du nombre de participants.

L'évaluation ne compare pas ces résultats à des objectifs chiffrés qui auraient été fixés au lancement du programme.

Enfin, l'analyse descriptive propose une estimation de l'impact sur le chiffre d'affaires (CA) et l'emploi par l'établissement de scénarios alternatifs. **Les scénarios alternatifs se fondent sur une hypothèse forte : ils supposent que certaines des technologies dont le développement a été co-financé par le programme n'auraient pas vu le jour sans les financements du programme.** Il est ensuite inféré quel aurait été l'impact de cette absence (sans modélisation économétrique) sur le chiffre d'affaires et l'emploi (direct, indirect et induit)<sup>8</sup>, en supposant qu'il y aurait eu une substitution très partielle vers d'autres technologies ou activités (cf. encadré 2).

---

<sup>6</sup> La maturité d'une innovation technologique peut être décrite par l'échelle de *technology readiness level* (TRL), qui va de la vérification du concept théorique (TRL 1) au déploiement à grande échelle (TRL 9).

<sup>7</sup> Minatec est un complexe scientifique d'envergure européenne situé à Grenoble. La structure n'a pas de personnalité juridique, et est affiliée au CEA-LETI et à l'institut polytechnique de Grenoble (Grenoble INP)

<sup>8</sup> La méthodologie d'évaluation de l'impact de ces scénarios sur l'emploi indirect et induit est décrite dans l'annexe 4 du rapport final d'évaluation de Nano 2017. L'évaluation des emplois indirects est réalisée à partir d'ESANE pour le ratio emploi/chiffre d'affaires et des données de sous-traitance, qui s'engagent à fournir un certain nombre de RH dans leur contrat.

**Encadré 2 : Les scénarios alternatifs proposés pour l'évaluation de Nano 2017**

Les évaluateurs du programme Nano 2017 ont construit deux scénarios alternatifs pour décrire ce qu'il aurait pu advenir en l'absence de programme :

- le scénario 1, dit « impact minimal », suppose que les imageurs issus du programme Nano n'auraient pas été développés ;
- le scénario 2, dit « impact étendu », suppose qu'aucune des briques technologiques majeures (imageurs, microcontrôleurs, FDSOI) issues du programme n'auraient été développées.

Il est supposé que l'absence de développement et de production de ces technologies et des produits les mobilisant entraîne une réduction directe du chiffre d'affaires et des effectifs de l'entreprise aidée, ainsi que chez ses fournisseurs. Par prudence, les évaluateurs ont intégré un « facteur d'obsolescence », qui suppose qu'en l'absence des produits issus du programme, une part de l'activité des industriels aurait tout de même été renouvelée par d'autres produits.

Pour autant, ces scénarios ne constituent pas des situations contrefactuelles qui permettent d'évaluer l'impact des financements publics accordés par le programme : il est possible que certaines technologies puissent être développées en l'absence de programme, et la comparaison entre les scénarios ne peut pas prendre en compte les facteurs confondants (par exemple, une partie des personnes recrutées pour les projets du programme Nano 2017 auraient pu être recrutées en l'absence de soutien public en cas d'amélioration de la santé financière des entreprises aidées).

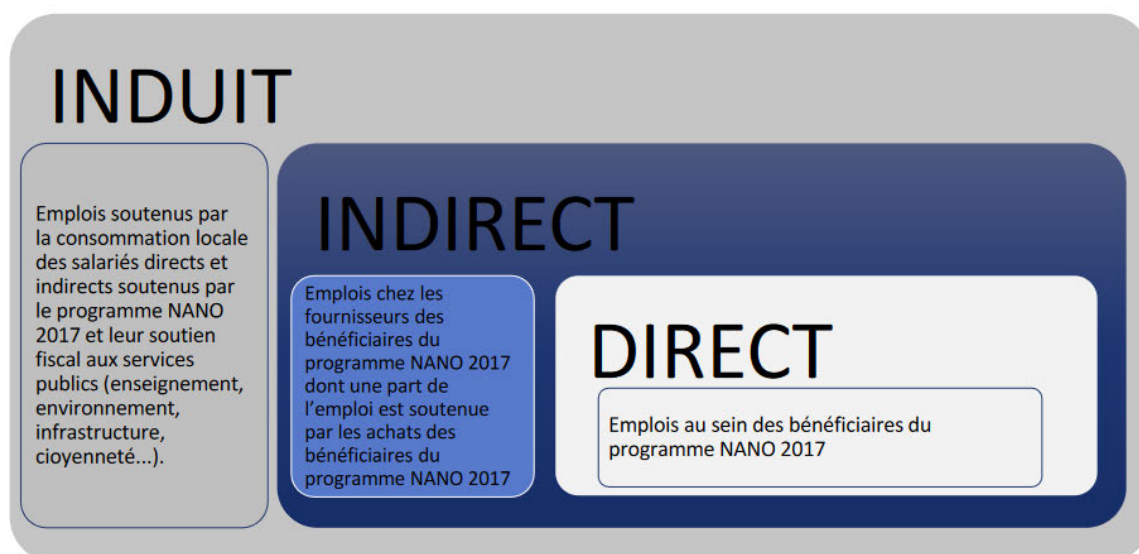
*Source : Mission.*

La méthode de calcul des emplois est la suivante (cf. figure 2) :

- ◆ les emplois directs sont les emplois chez les bénéficiaires directs (comme STMicroelectronics et Soitec) du programme Nano 2017 et qui sont affectés aux projets soutenus par le programme ;
- ◆ les emplois indirects sont des emplois chez les fournisseurs des bénéficiaires du programme. Ils sont estimés à partir du rapport entre le nombre d'emplois et le chiffre d'affaires des entreprises du secteur<sup>9</sup>, et le montant des achats passés par les bénéficiaires directs du programme à leurs fournisseurs. Certains contrats de sous-traitance prévoient la ressource humaine fournie : dans ce cas, il s'agit du chiffre retenu pour l'estimation ;
- ◆ les emplois induits sont estimés selon deux méthodes :
  - les emplois induits locaux sont calculés à partir du nombre d'emplois dans les services (hors sanitaire et social) rapporté au nombre total d'emplois salariés dans la région Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) puis corrigé à la hausse pour prendre en compte la plus grande proportion de cadres dans l'agglomération grenobloise que dans le reste de la région. Les emplois du secteur sanitaire et social sont estimés à partir des cotisations sociales générées par les emplois directs et indirects du programme Nano ;
  - les emplois induits nationaux sont calculés à partir du montant total des salaires nets, des achats et des cotisations sociales des bénéficiaires du programme Nano pour leurs activités co-financées par le programme, et de tables entrées sorties qui modélisent les interdépendances entre les secteurs d'activité de l'économie française à l'échelle nationale, sans que la source de ces tables soit précisée. Cette modélisation est combinée avec l'intensité emploi (nombre d'emplois divisé par le chiffre d'affaires) de chaque secteur pour déterminer le nombre total d'emplois générés.

<sup>9</sup> Extraits du fichier « *Élaboration des statistiques annuelles d'entreprise (ESANE)* » de l'INSEE, ou calculés à partir des données publiques de chiffre d'affaires et d'effectif pour les gros fournisseurs.

Figure 2 : Définitions des catégories d'emploi de l'évaluation finale de Nano 2017



*Source : Présentation des résultats de l'évaluation ex-post de Nano 2017 en date du 26 novembre 2020*

L'évaluation estime ainsi que **le programme Nano 2017 a entraîné la création de 2 700 à 4 500 emplois directs (en fonction du scénario alternatif retenu)**. Pour chaque emploi direct, il est estimé que 1,1 emplois indirects et induits sont soutenus, ce qui représente entre **3000 et 5000 emplois supplémentaires**.

L'impact sur l'emploi permet de calculer le gain fiscal et social pour l'État (taxe sur la valeur ajoutée, cotisations sociales, impôt sur le revenu) et les collectivités territoriales (impôts locaux). Ainsi, chaque année, il est estimé que les emplois « créés » par le programme génèrent entre 14 et 36 M€ d'impôts locaux, et entre 140 et 280 M€ de cotisations sociales et de TVA. **Le programme aurait donc un facteur de rentabilité fiscale situé entre 1,1 et 2. Cependant, le rapport note que 65 % des emplois sont des postes de cadres et de professions intellectuelles à forte employabilité, qui auraient exercé une activité professionnelle comparable** en l'absence de programme, et qui auraient donc entraîné des recettes fiscales et sociales comparables pour l'État et les collectivités territoriales (mais pas nécessairement celles de la région d'implantation des entreprises aidées).

De plus, cette méthodologie se fonde sur l'hypothèse qu'il n'y a aucun effet d'aubaine, c'est-à-dire qu'aucun investissement dans la R&D pour développer ces nouvelles technologies n'aurait été fait sans le financement public. Les entreprises STMicroelectronics et Soitec, interrogées dans le cadre d'entretiens par le prestataire, estiment que leur situation financière au début du programme Nano 2017 ne leur aurait pas permis de faire l'intégralité des investissements sans le soutien du programme, sans plus de détails sur ce qui aurait pu être réalisé ou non.

**2.2.2. L'analyse économétrique, qui exclut les chefs de file, met en évidence une augmentation plus forte des emplois de R&D dans le secteur des semi-conducteurs mais aucun effet sur le chiffre d'affaires**

**2.2.2.1. Le chiffre d'affaires, la marge d'exploitation et les dépenses de R&D sont moins dynamiques chez STMicroelectronics que chez Infineon Technologies et NXP Semiconductors**

L'évaluation de l'impact du programme sur STMicroelectronics est une analyse descriptive de la situation économique et financière de l'entreprise sur la période 2011-2018 par comparaison avec celle de Infineon Technologies (Allemagne) et NXP Semiconductors (Pays-Bas). Les principaux constats sont :

- ◆ les équivalents temps plein (ETP) mondiaux chez STMicroelectronics sont stables entre 2014 et 2018, alors qu'ils ont augmenté fortement chez NXP entre 2014 et 2015 (+75 %), pour revenir à leur niveau de 2014 en 2017 et 2018. Chez Infineon les effectifs ont augmenté de manière continue et sont passés de 28 000 à 38 000 ETP entre 2014 et 2018 ;
- ◆ le chiffre d'affaires de STMicroelectronics, qui est le plus élevé des trois entreprises en 2014, connaît une croissance moins dynamique et est rattrapé par NXP en 2018 ;
- ◆ les résultats nets de STMicroelectronics augmentent fortement en 2017 et 2018, cependant la marge d'exploitation reste la plus faible des trois sur la période 2014-2018 (7 % contre 16% pour NXP et 13% pour Infineon) ;
- ◆ les dépenses de R&D de STMicroelectronics et de Infineon sont stables entre 2014 et 2018 et sont multipliées par deux chez NXP sur la même période.

La comparaison de STMicroelectronics avec les deux autres principaux acteurs européens montre **la stabilité de l'industriel franco-italien sur la période du programme Nano 2017 en termes d'emploi, de chiffre d'affaires et de dépenses de R&D mais affiche une croissance plus faible de son chiffre d'affaires et une marge d'exploitation deux fois inférieure à celle des deux autres acteurs.**

Les moyens du CEA Leti sont comparés à ceux de l'institut Fraunhofer de Berlin : l'institut Fraunhofer se situe au-dessus du CEA-Leti en termes de nombre d'emplois, de budget et de nombre de secteurs d'activité. Les résultats (nombre de publications, nombre de brevets) des deux institutions ne sont pas comparés.

**2.2.2.2. La modélisation économétrique montre de premiers effets sur les dépenses de CIR, l'emploi et le chiffre d'affaires à l'export des bénéficiaires à partir de 2017, dernière année incluse dans l'évaluation**

La méthodologie économétrique mobilisée est une différence de différence : **on compare l'état du groupe traité avant et après traitement à un groupe comparable non traité sur les mêmes périodes de temps.** Le groupe comparable non traité a été constitué par l'estimation d'un **score de propension à partir des caractéristiques des entreprises en 2010 et 2011** (cf. encadré 3). Le score de propension est utilisé pour les trois axes de comparaison de l'analyse économétrique. La situation avant traitement est l'année 2012, et post-traitement est la dernière année disponible dans les bases utilisées (mises à disposition par le CASD).

**Encadré 3 : Caractéristiques utilisées pour le calcul du score de propension entre les entreprises**

Données démographiques : catégorie d'entreprise (TPE, PME, ETI...), catégorie juridique, secteur d'activité (code de la « nomenclature d'activités française », dit code NAF), appartenance à un pôle de compétitivité, département.

Données comptables : chiffre d'affaires (CA), valeur ajoutée (VA), chiffre d'affaires à l'export, montant du crédit d'impôt recherche (CIR), montant des dépenses de R&D (estimées par la somme des salaires bruts des emplois d'ingénieurs et de techniciens).

Données RH : Effectif, répartition des emplois par catégorie socio-professionnelle.

Insertion d'interactions d'ordre deux entre emplois et VA, intégrant ainsi la productivité du travail à l'analyse.

*Source : Rapport d'évaluation finale du plan Nano 2017.*

L'entreprise STMicroelectronics a été systématiquement retirée des analyses en raison de sa taille très importante ce qui rend complexe l'identification d'un contrefactuel, et, selon les auteurs du rapport, car elle a bénéficié de la majorité des aides du plan, sans qu'il ne soit précisé en quoi ce dernier argument constitue une raison d'exclusion de la modélisation.

**Ainsi l'analyse économétrique ne porte pas sur les chefs de file du plan, mais sur les effets du programme sur les PME et ETI de la nanoélectronique grenobloise.** Les indicateurs retenus sont :

- ◆ les dépenses de recherche et développement déclarées au titre du crédit d'impôt recherche ;
- ◆ les emplois totaux et emplois de R&D (ETP) ;
- ◆ la masse salariale de R&D (salaires bruts) ;
- ◆ le chiffre d'affaires et chiffre d'affaires à l'export ;
- ◆ la valeur ajoutée.

Elle se décline en trois axes :

- ◆ l'axe n°1 porte sur l'impact du programme sur les entreprises bénéficiaires :
  - le groupe traité est composé des entreprises bénéficiaires de financements du programme Nano 2017, de manière directe (par convention financière avec l'État) et indirecte (en tant que partenaire des projets subventionnés) ;
  - le groupe contrôle rassemble les entreprises de R&D qui ont les mêmes codes NAF que les entreprises du groupe traité mais qui ne sont pas bénéficiaires de financements de Nano 2017 ;
  - il est trouvé un effet significativement positif sur les dépenses prises en compte pour le calcul du CIR, le nombre d'emplois (totaux et de R&D) et le chiffre d'affaires à l'export à partir de 2017. Il n'y a pas d'impact sur le chiffre d'affaires global ;
- ◆ l'axe n°2 cherche à estimer l'effet territorial du programme pour l'industrie en Isère, par rapport aux industries des autres territoires français :
  - le groupe traité est composé des entreprises iséroises faisant de la R&D dans une des villes où se situe un bénéficiaire de Nano 2017 ;
  - le groupe contrôle rassemble les entreprises qui ont le même NAF que les entreprises du groupe traité, sur le reste du territoire français ;

## Annexe II

- **le nombre d'emplois de R&D du secteur a progressé plus rapidement au sein du cluster Crolles-Grenoble qu'ailleurs en France entre 2012 et 2017.** Il n'y a pas d'impact sur les autres indicateurs.
- ◆ l'axe 3 estime l'impact du programme sur la filière électronique en AURA, par comparaison à d'autres secteurs présents sur le même territoire :
  - le groupe traité est composé des entreprises qui font de la R&D en AURA avec le code NAF n°26 « fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques » ;
  - le groupe contrôle rassemble les entreprises qui font de la R&D (code NAF C) en AURA, hors code NAF n° 26 ;
  - **le chiffre d'affaires à l'export de la filière électronique dans la région AURA a progressé près de 1,5 fois plus vite que celui des autres secteurs du même territoire entre 2012 et 2016.** Les salaires bruts des emplois de R&D en microélectronique en AURA ont augmenté plus vite que ceux des autres secteurs industriels de la même région.

L'évaluation du programme Nano 2017 mobilise des techniques d'évaluation économique qui sont plus rigoureuses que l'évaluation de Nano 2012. L'évaluation présente cependant des limites intrinsèques :

- ◆ le manque de recul temporel des données : à plusieurs reprises, le rapport mentionne que l'absence d'effet s'explique sûrement par la durée nécessaire pour que les impacts se voient dans les indicateurs de bout de chaîne comme le chiffre d'affaires à l'export. ;
- ◆ les chefs de file ne font pas partie de l'analyse causale ;
- ◆ l'évaluation ne fait pas de recommandations pour la suite du soutien à la filière des semi-conducteurs.

### **2.3. L'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022 trouve un effet positif sur le développement des partenariats entre acteurs industriels et académiques mais des résultats mitigés sur la structuration de la filière industrielle**

#### **2.3.1. Le rapport de l'Assemblée nationale sur les investissements d'avenir pour le PLF 2021 plaide pour un élargissement des critères des projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) pour permettre le soutien à l'industrialisation**

Un premier bilan intermédiaire du programme Nano 2022 a été établi en octobre 2020 dans le cadre d'un avis présenté au nom de la commission des affaires économiques sur le projet de loi de finances pour 2021 concernant les investissements d'avenir. La rapporteure a examiné des indicateurs quantitatifs mesurant l'avancée (nombre d'emplois créés, de brevets et de publications scientifiques) en 2018 et 2019, sans comparaison avec les niveaux antérieurs au programme Nano 2022. Le rapport est complété par des entretiens avec les chefs de file du programme, qui soulignent leur satisfaction d'avoir un plan quinquennal de soutien public, dont l'exécution est jugée conforme aux enjeux du secteur (cf. encadré 4).

**Encadré 4 : Extrait de la section relative au programme Nano 2022 du rapport de l'Assemblée nationale (PLF 2021)**

Les auditions conduites par votre Rapporteuse dans le cadre de la préparation de son avis budgétaire font apparaître un bilan très positif du plan Nano 2022, selon les éléments fournis par la direction générale des entreprises.

En termes d'emploi, au titre de l'année 2019, les travaux de Nano 2022 ont mobilisé 1 849 personnes et ont généré en moyenne depuis deux ans la création de 230 emplois chez les chefs de file et le CEA. Ce point est important dans la mesure où l'un des défis de la filière électronique est de conserver et d'attirer une main-d'œuvre hautement qualifiée.

Les aides d'État de Nano 2022 ont également généré de conséquents investissements chez les 6 chefs de file et le CEA. Elles ont facilité le financement des projets d'agrandissement d'usines et de nouveaux bâtiments de production. Le dynamisme grandissant des entreprises de la nanoélectronique dans l'écosystème français laisse entrevoir de belles perspectives pour la suite du plan Nano 2022.

Enfin, en termes de R&D, les 6 chefs de file et le CEA ont déposé 287 brevets en 2018 et 315 en 2019, témoignant de résultats de recherche encourageants et d'une politique de protection de la propriété intellectuelle française en vue de la mise sur le marché de technologies innovantes. Ils ont également publié plus de 350 articles et thèses scientifiques en 2019, permettant aux acteurs français de la nanoélectronique de maintenir une réputation mondiale en matière d'innovation et de technologie de pointe.

Les acteurs auditionnés font donc état d'une satisfaction au regard du niveau important d'engagement de l'État dans ce domaine. Ils considèrent que les plans Nano, sur une durée de 5 ans, permettent de disposer d'une visibilité suffisante sur l'avenir de leur secteur d'activité.

Sur le plan Nano 2022, les acteurs estiment qu'il a notamment permis au CEA-Leti de rester visible internationalement et de faciliter la prise de risques par des entreprises stratégiques comme Soitec ou STMicroelectronics. De ce point de vue, le plan dispose d'un effet de levier important sur les financements privés.

*Source : avis présenté au nom de la commission des affaires économiques sur le projet de loi de finances pour 2021 concernant les investissements d'avenir*

Le rapport donne lieu à quatre propositions pour la poursuite du programme et la conception d'un futur plan de soutien :

- ◆ renforcer la lisibilité des lignes budgétaires relatives au financement du programme Nano 2022 ;
- ◆ encourager un assouplissement de la définition, dans le droit européen, de la notion de première industrialisation dans le cadre des projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC), l'avis jugeant que « *la définition actuelle, trop restreinte, limite le soutien financier aux seules premières lignes déployées, et ne permet pas un soutien dans la durée de l'industrialisation du processus.* », suggérant ainsi qu'un futur programme devrait inclure un soutien à l'industrialisation des technologies matures pour le secteur des semi-conducteurs ;
- ◆ conserver une optique stratégique visant à cibler les segments clés de la chaîne de valeur mondiale de l'électronique pour un futur programme de soutien ;
- ◆ réaliser un état des lieux du soutien public à la filière de l'optique photonique en France.

La mission n'a pas eu connaissance des suites données à ces propositions.

### 2.3.2. L'évaluation intermédiaire confiée par la DGE au cabinet Deloitte en 2022 note le retard pris dans l'exécution du programme Nano 2022 et des difficultés de recrutement

L'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022, commandée par la DGE, a été réalisée en 2022 par le cabinet Deloitte. Un rapport de synthèse est disponible sur le site du ministère chargé de l'industrie.

L'évaluation s'est fondée sur une collecte de données quantitatives auprès de la DGE, des chefs de file et des partenaires, sur des entretiens avec les chefs de file et sur des bases de données administratives publiques. Elle a trois objectifs :

- ◆ (i) la présentation d'un panorama des tendances économiques du secteur de la microélectronique et des autres plans internationaux de soutien public ;
- ◆ (ii) la quantification des résultats du programme en termes de R&D et de premier déploiement industriel (FID) ;
- ◆ (iii) une analyse de la gouvernance du programme.

(i) En 2020 l'Europe a accueilli 2,1 Md€ d'investissement pour des équipements de fabrication de semi-conducteurs, soit 3 % du total mondial investi en 2020. Les principaux pays attractifs sont en Asie : la Chine, Taiwan et la Corée du Sud ont bénéficié de 75 % des investissements mondiaux en 2020.

Les trois principaux acteurs européens (hors ASML) sont des *integrated device manufacturer* (IDM), c'est-à-dire qu'ils mènent les activités sur toute la chaîne de valeur depuis le design jusqu'à l'assemblage et le test. Seule la production est partiellement externalisée vers des fonderies avancées comme TSMC : en 2020, STMicroelectronics externalise environ 30 % de sa production.

L'industrie microélectronique européenne est concentrée sur les puces pour les systèmes embarqués (industrie automobile, aéronautique, etc.), même si les technologies soutenues par le PIIEC microélectronique de 2018 ont des applications plus diverses. En effet, le rapport établit le potentiel de marché dans la filière aval de chaque axe technologique du PIIEC microélectronique de 2018 à l'horizon 2025 :

- ◆ les capteurs intelligents ont de fortes perspectives pour l'automobile, les équipements industriels, l'aérospatial, la défense et sécurité et l'internet des objets ;
- ◆ les composants numériques à basse consommation regroupent deux types de composants :
  - les composants FD-SOI et les mémoires non-volatiles embarquées<sup>10</sup> ont un fort potentiel de marché pour l'automobile, les équipements industriels et l'internet des objets ;
  - les composants radiofréquences sont destinés aux réseaux télécoms , à l'électronique grand public et à l'internet des objets ;
- ◆ les composants de puissance sont nécessaires à l'automobile, aux équipements industriels et à l'aérospatial et la défense et sécurité ;
- ◆ les équipements optiques avancés sont destinés aux réseaux télécoms et à l'électronique grand public ;
- ◆ enfin, les semi-conducteurs composites développés dans le PIIEC sont fondés sur deux matériaux :

---

<sup>10</sup> Une mémoire non volatile est une mémoire informatique qui conserve ses données en l'absence d'alimentation électrique.

## Annexe II

- le carbure de silicium (SiC) doit trouver des applications de puissance dans l'automobile, en particulier le véhicule électrique, les équipements industriels, l'aérospatial et la défense et sécurité ;
- le nitrure de gallium (GaN) a des perspectives également de puissance dans l'aérospatial et la défense et sécurité, les réseaux télécoms et l'électronique grand public.

Les autres plans de soutien internationaux sont présentés en annexe VI, dans leur version actualisée à la date de la rédaction du rapport.

(ii) Le rapport note que le déploiement du programme a pris du retard pour trois raisons :

- ◆ la lourdeur des processus administratifs liés au PIIEC ;
- ◆ la crise sanitaire ;
- ◆ le « *US BAN* » de l'entreprise Huawei et 70 de ses filiales par le département du commerce des Etats-Unis, qui a remis en cause certains projets exploitant des technologies américaines et destinées à des producteurs chinois.

Les versements du financement public ont aussi pris du retard : il est estimé que 83 % des montants dédiés au plan auront été versés fin 2022, ce qui est corroboré par le bilan financier du programme (cf. annexe I).

Chaque euro de financement octroyé aux chefs de file correspond à 4,6 euros d'investissement (en R&D et FID) réalisés dans les projets du programme Nano 2022, soit deux fois plus que l'effet levier documenté par le programme Nano 2017. Ce chiffre est de 2 euros d'investissement par euro de financement pour les autres bénéficiaires industriels. **Les chefs de file concentrent la quasi-totalité de leur R&D sur des projets soutenus par Nano 2022** : ceux-ci représentent en effet 95 %<sup>11</sup> de leur dépense de R&D.

Les partenaires académiques soulignent que le programme Nano 2022 a été déterminant pour l'existence des projets. Les partenaires industriels estiment que le programme a conduit à développer des projets de plus grande ampleur et mis en place plus rapidement.

Les impacts en termes de création d'emplois sont inférieurs de 25 % à la cible fixée à 4000 ETP dans la communication du programme publiée sur le site du ministère de l'industrie.

Le rapport présente aussi :

- ◆ l'avancée en TRL de chaque produit du programme :
  - les produits renseignés par les chefs de file ont atteint un TRL supérieur ou égal à 7 pour 32 % des produits renseignés, et 27 % ont atteint le TRL 6 ;
  - les partenaires travaillent sur des technologies plus matures : 58 % des produits ont atteint le TRL 7 ou plus ;
- ◆ le volume de production scientifique entre 2018 et 2021, établi à :
  - 1165 publications ;
  - 921 brevets ;
- ◆ les effets positifs du programme sur la FID des chefs de file : certains des produits développés dans le cadre du programme sont déjà passés en phase de FID ;
- ◆ le chiffre d'affaires généré par les productions du programme Nano 2022, qui s'élève à 767 M€ pour les chefs de file entre 2018 et 2021, et à 10 M€ pour les partenaires industriels sur la même période. **Les chefs de file réalisent 96 % de ce chiffre d'affaires à l'export (contre 18 % pour les partenaires industriels) ;**
- ◆ la valeur ajoutée totale générée par les productions du programme qui s'élève à 238 M€, dont 230 M€ pour les chefs de file et 8 M€ pour les partenaires industriels.

---

<sup>11</sup> Part moyenne non pondérée par les aides reçues. La part moyenne pondérée est de 61%.

## Annexe II

Il est ajouté des indicateurs environnementaux liés à l'activité de STMicroelectronics concernant :

- ◆ la performance des puces, en comparant la consommation d'énergie par type de puce, en comparant les générations pré et post Nano. **La consommation d'énergie des puces est réduite de 30 à 75 % par rapport à la génération précédente ;**
- ◆ l'évolution des techniques de production : consommation en eau (-6 à -8 %), d'électricité (-4 à -11 %), d'autres énergies (+6 à -18 %), de génération de déchets (+2 à -13 %) , et émission de gaz à effet de serre (+19 à -15 %) par type de puce ;
- ◆ la relocalisation de certaines activités : impact du mix énergétique du pays de production, sans qu'un calcul ne soit proposé. Les émissions liées au transport ne sont pas estimées, en raison de la petite taille des puces.

D'un point de vue qualitatif, les impacts du programme sur la structuration de la filière industrielle sont mitigés, alors que son effet sur le développement des partenariats entre acteurs industriels et académiques est jugé très positif.

(iii) Enfin, le rapport esquisse des **pistes d'évolution dans la méthode de conception et pour le pilotage d'un futur plan de soutien public à la filière des semi-conducteurs**, à partir d'entretiens qualitatifs menés auprès des acteurs :

- ◆ le pilotage technique est de bonne qualité, mais le pilotage stratégique apparaît insuffisant. Ce manque pose des difficultés dans l'instruction des demandes d'amendement des projets (pour un changement d'orientation industrielle ou suite à l'échec d'une piste de recherche par exemple) ;
- ◆ la communication lors de la conception de ce type de programme doit être améliorée. En effet, le rapport note que *« la diffusion large d'appels à manifestation d'intérêt permettant de faire remonter les projets constitue un levier important afin de prévenir une sélection de bénéficiaires qui repose de manière excessive sur les réseaux d'acteurs avec des risques sur la qualité de la sélection des projets et sur une concentration des financements excessive sur quelques acteurs »* ;
- ◆ la communication entre acteurs européens et nationaux du PIIEC doit être enrichie pour mieux faire connaître et diffuser l'avancée des technologies développées par les partenaires ;
- ◆ les liens avec les collectivités territoriales doivent être renforcés afin de favoriser l'articulation des programmes locaux de soutien à l'industrie avec le programme national.

L'évaluation intermédiaire de Nano 2022 s'est efforcée d'identifier les moyens dédiés et les résultats des projets soutenus par le programme. Elle contient des indicateurs déjà présents dans les évaluations précédentes de performance de la recherche (brevets, TRL) et de performance économique (chiffre d'affaires et valeur ajoutée), et, pour la première fois, des indicateurs élémentaires de sobriété environnementale.

L'analyse des domaines d'application des axes technologiques et de leur marché potentiel actualisé à l'horizon 2025 ébauche une piste d'évaluation ex-post de la stratégie du PIIEC.

### **3. Les évaluations des précédents programmes ne sont pas suffisantes pour dresser un tableau fidèle de l'impact des financements publics accordés à la filière par les programmes Nano**

À l'exception du nombre d'emplois créés pour le programme Nano 2022, les rapports d'évaluations ne mentionnent pas d'objectifs chiffrés définis au lancement des programmes, et, ainsi ne cherchent pas à estimer si les programmes ont atteint leur cible initiale. Les indicateurs retenus et les méthodes mobilisées sont hétérogènes (cf.

tableau 2), ainsi, **les résultats des évaluations ne sont pas comparables**. La qualité de l'évaluation a augmenté entre l'évaluation finale de Nano 2012, qui établit la performance de STMicroelectronics en 2011 et l'impact de l'ensemble de son activité sur le territoire grenoblois, et celle de Nano 2017 qui s'intéresse à l'impact causal du programme sur le secteur en neutralisant les facteurs confondants. Cependant, l'analyse économétrique proposée exclut les chefs de file (STMicroelectronics et CEA-Leti), faute de contrefactuel identifiable. Les effets mis en évidence concernent donc le reste de l'écosystème de la nanoélectronique qui a bénéficié du soutien public en tant que partenaires des chefs de file. L'effet positif du programme Nano 2017 sur certains indicateurs comme le chiffre d'affaires à l'export et le nombre d'emplois de R&D semble démarrer à partir de 2017, qui est la dernière année comprise dans l'étude.

**Les évaluations ne disposent pas du recul temporel suffisant pour apprécier les impacts des programmes de R&D soutenus** : les effets concernant les technologies peu matures se mesurent plusieurs années après. Les évaluations des programmes Nano s'intéressent à la période temporelle du programme à évaluer. **Il n'a pas été porté à la connaissance de la mission d'analyse qui aurait présenté des données longitudinales sur des périodes temporelles plus étendues.**

L'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022 a mobilisé des sources diverses, provenant de la DGE, des acteurs bénéficiaires et des bases de données administratives. Nano 2022 a aidé l'intégralité des principaux acteurs du secteur, il n'est donc pas possible de reproduire le design de l'analyse causale de Nano 2017.

Les évaluations successives ont produit des éléments qu'il pourrait être pertinent d'actualiser pour l'évaluation finale du programme Nano 2022 (cf. tableau 2) :

- ◆ le panorama sectoriel de la filière et la vision internationale des autres plans de soutien public ;
- ◆ la description de l'écosystème français et des partenariats européens ;
- ◆ l'analyse de l'avancée du développement des technologies soutenues par le programme, de leurs perspectives de marché pour les moins avancées et de la valeur ajoutée créée pour les plus matures ;
- ◆ la part des financements du programme dans l'investissement total et dans l'activité globale des acteurs aidés ;
- ◆ l'introduction d'indicateurs de performance environnementale ;
- ◆ les propositions sur l'évolution de la gouvernance du programme.

En complément, l'intégration du programme Nano 2022 dans un PIIEC, la possibilité de solliciter des co-financements européens via des entreprises communes et l'introduction du Chips act<sup>12</sup> européen en 2023 nourrissent deux nouveaux axes d'investigation :

- ◆ la performance des entreprises françaises dans la réussite aux appels à projets des dispositifs européens ECSEL<sup>13</sup> et *Key Digital Technologies*<sup>14</sup>, dotés de financements de la commission européenne ;

---

<sup>12</sup> Le Chips act est le règlement européen sur les semi-conducteurs publié par la commission européenne en 2023. Il contient une disposition permettant aux États de subventionner des projets de production de puces matures, sous réserve que l'installation soit « pionnière » sur le territoire de l'Union Européenne, ce qui constitue une dérogation à la réglementation européenne des aides d'État. Le Chips act est présenté plus en détails dans l'annexe I du présent rapport.

<sup>13</sup> L'initiative technologique conjointe (ITC) ECSEL s'inscrit dans le cadre du programme européen Horizon 2020 et dans la stratégie européenne de soutien aux technologies clés. L'ITC ECSEL concerne les technologies de base du numérique : composants nano/microélectronique, logiciels et systèmes.

<sup>14</sup> L'entreprise commune pour les technologies numériques clés (KDT JU) est le partenariat public-privé pour la recherche, le développement et l'innovation sur les technologies numériques clés du programme Horizon Europe porté par la commission européenne. Cette entreprise commune a pris la suite de l'ITC ECSEL.

## Annexe II

- ◆ l'impact des dispositifs dérogatoires à l'encadrement des aides d'État dans le secteur des semi-conducteurs (PIIEC et Chips act) sur l'intensité de la compétition entre acteurs européens, entre course à la subvention entre États membres pour attirer les entreprises internationales et concentration des efforts sur des projets où l'Europe peut avoir un avantage comparatif.

## Annexe II

**Tableau 2 : Comparaison des objectifs et des méthodes des évaluations des programmes Nano**

Évaluation	Évaluation finale de Nano 2012	Évaluation finale de Nano 2017	Évaluation intermédiaire de Nano 2022
Période du programme	2009-2012	2013-2017	2018-2022
Commanditaire	Chambre de commerce et d'industrie de Grenoble	DGE	DGE
Evaluateur	Reverdy Associés	GAC group en collaboration avec collaborative people	Deloitte
Date du rapport	Avril 2012	Avril 2021	Juin 2022
Objectifs du programme	Miniaturisation (32 et 22 nm) Application pour les mémoires embarquées et les imageurs Développement du FD-SOI	Miniaturisation (14 nm) Développement de nouvelles exploitations (Internet des objets, connectivité 5G et automobile) Utilisation croissante du FD-SOI	Développement de puces écoénergétiques, de conducteurs de puissance, de capteurs intelligents, d'équipement optique avancé et de matériaux composites.
Objectifs de l'évaluation	Description de la performance financière de STMicroelectronics Impact de l'activité de STMicroelectronics sur l'économie locale	Impact sur la R&D et le développement technologique Impacts économiques et financiers pour la filière Retombées socio-économiques du programme pour le territoire Impacts sur la structuration de la filière micro-nanoélectronique et son insertion dans l'écosystème européen	Mise à jour des perspectives de marché des technologies soutenues. Impact sur la R&D, le développement technologique et l'industrialisation Impacts économiques et financiers pour la filière Place de la filière des semi-conducteurs dans les territoires des chefs de file du Programme Nano 2022 Recommandations pour la suite du programme

## Annexe II

Méthodes	<p>Analyse descriptive</p> <p>Modélisation des emplois indirects et induits et des retombées économiques à partir du volume d'achats de STMicroelectronics</p>	<p>Analyse descriptive de l'avancée du programme et entretiens avec les chefs de file</p> <p>Construction de scénarios alternatifs pour évaluer le volume d'emplois créés ou maintenus grâce au programme</p> <p>Modélisation économétrique : différence de différence (avant/après le programme, sur les entreprises aidées et non aidées)</p>	<p>Panorama économique du secteur.</p> <p>Analyse descriptive de l'avancée du programme et entretiens avec les chefs de file</p> <p>Estimation d'indicateurs d'impact environnementaux liés à la performance des puces, l'évolution des techniques de production et à la relocalisation de certaines activités</p>
Avantages	<p>L'évaluation présente de manière exhaustive l'écosystème industriel et académique grenoblois des semi-conducteurs.</p>	<p>La modélisation économétrique permet de réaliser une analyse causale en neutralisant les effets extérieurs au programme.</p>	<p>Les perspectives de marché des technologies soutenues permettent de faire un premier bilan stratégique des orientations du PIIEC.</p> <p>Les indicateurs sur l'avancée des projets de R&amp;D et de FID sont exhaustifs. Les financements associés sont rapportés à l'activité totale des entreprises aidées.</p> <p>L'évaluation analyse la gouvernance et le pilotage du programme et émet des recommandations.</p>
Inconvénients	<p>L'évaluation n'est pas une analyse d'impact du programme Nano 2012 mais de l'activité du site de Grenoble-Crolles de STMicroelectronics.</p> <p>La méthode d'estimation des retombées économiques se fonde sur des hypothèses fortes.</p> <p>L'évaluation ne réalise pas d'analyse causale.</p>	<p>La modélisation économétrique n'est pas reproductible pour Nano 2022 car le programme a bénéficié à la grande majorité des entreprises du secteur, ce qui rend impossible la construction d'un contrefactuel similaire.</p> <p>La dernière année d'étude est 2017, ce qui manque de recul pour apprécier certains effets.</p>	<p>L'évaluation ne réalise pas d'analyse causale, ce qui ne permet pas d'identifier la part d'effet attribuable au programme.</p>

## Annexe II

<p>Résultats</p>	<p>Les lignes de production des puces les plus petites sont mises en place. Absence d'information sur le FD-SOI.</p> <p>Stabilité du volume d'emploi et d'achat.</p> <p>Analyse financière incomplète : taux de marge de STMicroelectronics fluctuant et absence d'information sur l'évolution du chiffre d'affaires de STMicroelectronics.</p>	<p>Les TRL 8 et 9 ont été atteints pour les technologies dites « différenciantes ».</p> <p>600 publications et 550 brevets sont liés à Nano 2017.</p> <p>Le chiffre d'affaires, la marge d'exploitation et les dépenses de R&amp;D sont moins dynamiques chez STMicroelectronics que chez Infineon Technologies et NXP Semiconductors.</p> <p>L'impact sur l'emploi chez les partenaires industriels est positif à partir de 2017. Le programme Nano 2017 n'a pas eu d'effet sur le chiffre d'affaires et la valeur ajoutée des partenaires industriels.</p> <p>Les réseaux nationaux et européens constitués sont jugés performants.</p>	<p>Les technologies de Nano 2022 ont des perspectives de marché dans les systèmes embarqués (automobile, aéronautique), et dans les communications.</p> <p>1165 publications et 921 brevets sont liés à Nano 2022.</p> <p>Le programme a pris du retard (lourdeur des processus administratifs européens, US ban et crise sanitaire de 2020).</p> <p>Les chefs de file concentrent la quasi-totalité de leur R&amp;D sur des projets soutenus par Nano 2022. Les partenaires travaillent sur des technologies plus matures.</p> <p>La consommation d'énergie des puces est réduite de 30 à 75 % par rapport à la génération précédente.</p> <p>Le programme a eu un effet positif sur le développement de partenariats entre industriels et académiques.</p>
------------------	---	---	--

*Source : Mission à partir des rapports d'évaluation finale de Nano 2012, de Nano 2017 et du rapport d'évaluation intermédiaire de Nano 2022.*

## **ANNEXE III**

### **Panorama sectoriel**

## SOMMAIRE

<b>1. LES SEMI-CONDUCTEURS, COMPOSANTS ELEMENTAIRES DE L'ELECTRONIQUE MODERNE, CONSTITUENT DES INTRANTS CRITIQUES POUR DE NOMBREUX SECTEURS INDUSTRIELS, CERTAINS STRATEGIQUES COMME LA DEFENSE .....</b>	<b>1</b>
1.1. L'industrie des semi-conducteurs s'appuie sur près d'un siècle de recherche et développement.....	1
1.2. L'industrie des semi-conducteurs connaît actuellement une croissance importante liée à l'augmentation de la demande aval dans les secteurs historiques et à une diversification des usages.....	3
1.2.1. <i>Les secteurs de l'informatique et des télécommunications représentent toujours le principal débouché pour les producteurs de composants logiques et de mémoires.....</i>	<i>4</i>
1.2.2. <i>L'internet des objets et l'intelligence artificielle sont des secteurs en croissance qui nécessitent des semi-conducteurs adaptés.....</i>	<i>6</i>
1.2.3. <i>L'industrie automobile constitue un débouché domestique en croissance et en pleine mutation sur lequel se sont concentrés les producteurs européens de semi-conducteurs.....</i>	<i>8</i>
1.2.4. <i>L'aéronautique et le spatial, deux industries européennes fortes qui ont des besoins importants en composants électroniques.....</i>	<i>11</i>
1.3. La disponibilité de certains composants électroniques entrant dans la composition de systèmes d'armement leur confère <i>de facto</i> une dimension stratégique .....	11
<b>2. LES ENTREPRISES FRANÇAISES ET EUROPEENNES ONT PRESERVE UN SAVOIR-FAIRE SUR LE SEGMENT DES PUCES MATURES ET DES COMPOSANTS ANALOGIQUES MAIS NE DISPOSENT PAS DE CAPACITES DE PRODUCTION SUR LE SEGMENT DES PUCES AVANCEES.....</b>	<b>14</b>
2.1. La microélectronique constitue une industrie mondialisée, fortement connectée et intensive en capital dont une minorité d'acteurs maîtrise l'ensemble de la chaîne.....	14
2.1.1. <i>L'industrie des semi-conducteurs a connu un fort effet de spécialisation qui s'est accéléré avec l'introduction des modèles « fabless ».....</i>	<i>14</i>
2.1.2. <i>La spécialisation des acteurs a entraîné une mondialisation de l'industrie, qui génère des flux commerciaux très importants entre pays.....</i>	<i>17</i>
2.2. L'industrie des intrants est dominée par des entreprises asiatiques, alors que l'entreprise hollandaise ASML est en quasi-monopole sur le marché des machines de photolithographie haute performance.....	17
2.2.1. <i>La production d'intrants minéraux et chimiques constitue une spécialité asiatique, même si une entreprise française se démarque sur le segment des intrants gazeux.....</i>	<i>17</i>
2.2.2. <i>Le savoir-faire en termes de machines-outils constitue le principal atout stratégique de l'Europe.....</i>	<i>19</i>
2.3. La conception des puces constitue un segment à forte valeur ajoutée dominé par des entreprises américaines « <i>fabless</i> » et s'appuie sur des logiciels dédiés qui sont partie intégrante de la chaîne de valeur .....	20
2.3.1. <i>Le marché des logiciels de conception est dominé par les États-Unis.....</i>	<i>20</i>
2.3.2. <i>La conception des processeurs destinés aux smartphones et ordinateurs est une spécialité d'entreprises américaines qui se sont progressivement détachées de la fabrication physique.....</i>	<i>21</i>

2.4. La production industrielle de composants électroniques repose sur la technique de la photolithographie, maîtrisée à l'état de l'art par deux entreprises asiatiques et une entreprise américaine .....	23
2.4.1. <i>La miniaturisation des composants dans le cadre de la loi de Moore semble approcher de son terme</i> .....	23
2.4.2. <i>Trois entreprises sont actuellement capables de produire des puces au niveau de gravure le plus fin : TSMC, Samsung et Intel</i> .....	25
2.4.3. <i>Les compétences sur le marché des mémoires sont exclusivement concentrées en Asie</i> .....	28
2.5. L'assemblage et l'intégration, une étape à moindre valeur ajoutée .....	29
<b>3. DANS LE CADRE DU PLAN NANO 2022, LA FRANCE A FINANCE LE DEVELOPPEMENT DE TECHNOLOGIES SPECIFIQUES CONSIDEREES COMME STRATEGIQUES</b> .....	<b>31</b>
3.1. Les besoins du tissu industriel européen aval sont ciblés par le plan Nano.....	31
3.2. L'activité civile des industries produisant des composants électroniques pour la défense nationale a été soutenue.....	34
3.3. Le programme Nano a financé le développement de deux technologies s'inscrivant dans la course au « <i>More than Moore</i> ».....	34
3.3.1. <i>Le développement des technologies silicium sur isolant (SOI) vise à produire des composants à moindre consommation énergétique</i> .....	34
3.3.2. <i>Les substrats en nitrure de gallium et carbure de silicium représentent un marché en croissance sur lequel l'entreprise Soitec se positionne en leader mondial</i> .....	37

## **1. Les semi-conducteurs, composants élémentaires de l'électronique moderne, constituent des intrants critiques pour de nombreux secteurs industriels, certains stratégiques comme la défense**

### **1.1. L'industrie des semi-conducteurs s'appuie sur près d'un siècle de recherche et développement**

L'invention par les laboratoires Bell du transistor<sup>1</sup> semi-conducteur en 1947 a progressivement permis de remplacer les tubes électroniques à vide, fragiles et onéreux, dans nombre de leurs applications, tant analogiques (amplification ou la génération d'ondes électromagnétiques), que comme interrupteur commandable (élément de base des machines de calcul logique alors en cours de développement qui ont donné naissance aux ordinateurs). En 1959, l'interconnexion de plusieurs transistors fabriqués sur une même plaquette a conduit à l'apparition des premiers circuits intégrés<sup>2</sup>. Avec le développement des transistors à effet de champ métal oxyde (MOS), cela marque le début d'une série de progrès technologiques qui ont mené au développement des circuits intégrés logiques actuels.

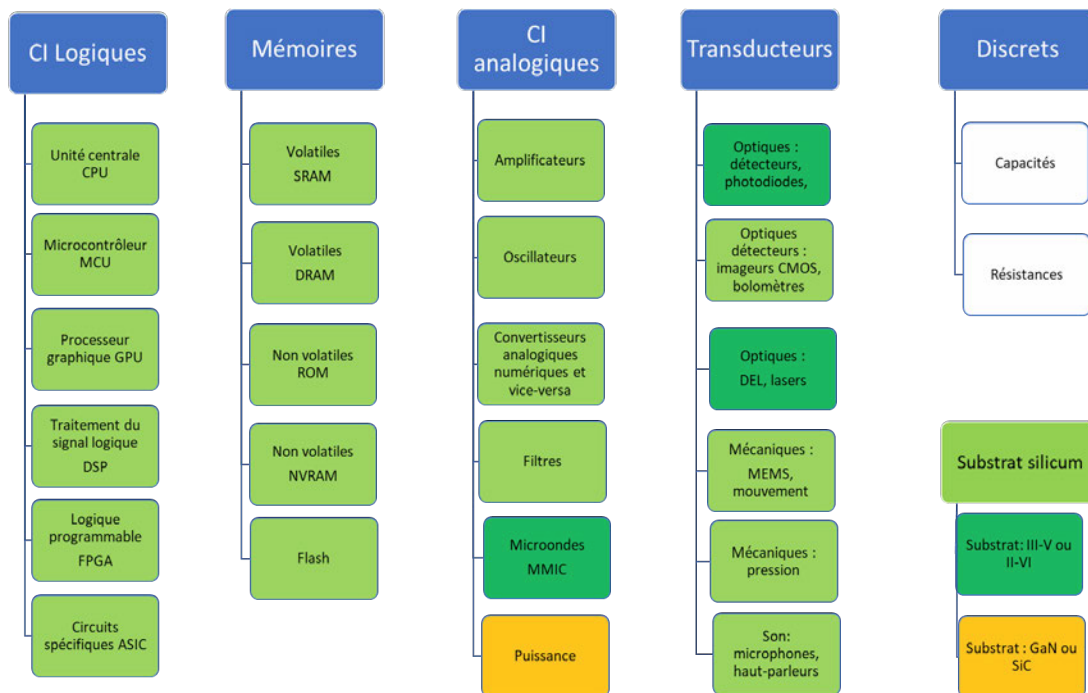
Depuis cette époque, la taille des transistors n'a cessé de diminuer et les performances des circuits intégrés se sont améliorées, tant en termes de puissance de calcul que de consommation énergétique. En parallèle, les process industriels ont été optimisés et la taille des plaquettes de silicium sur lesquelles ces circuits sont fabriqués a augmenté, ce qui a permis d'accroître le rendement et la fiabilité des composants. Le fait de pouvoir réaliser avec les mêmes procédés de fabrication, tant des fonctions logiques, analogiques, de capteurs etc. permet de développer des systèmes complets intégrés sur la même puce que l'on appelle *System on chip* (SoC), mêlant l'ensemble des fonctions.

---

<sup>1</sup> Un transistor est un composant électronique qui fonctionne comme un interrupteur ou un amplificateur, contrôlant le passage du courant entre deux conducteurs grâce à un signal de contrôle.

<sup>2</sup> Un circuit intégré est un composant électronique miniaturisé qui regroupe plusieurs éléments comme des transistors, des résistances et des condensateurs sur une seule puce, généralement en silicium.

Graphique 1 : Cartographie des circuits et composants



Source : La microélectronique, Présentation DGE, septembre 2023.

**À partir des années 1990, le développement des circuits intégrés a débouché sur plusieurs applications grand public** : l'ordinateur de bureau, internet, puis les smartphones sont les plus notables (ces débouchés représentent en 2021 les deux tiers du marché des semi-conducteurs, soit un marché de 400 Md\$, cf. 1.2). Dans le même temps, les circuits intégrés ont remplacé quasiment tous les automatismes présents dans les objets de la vie courante : automobiles, appareils électroménagers, appareils médicaux notamment. Leur essor a été à l'origine de la croissance de l'industrie des semi-conducteurs qui a évolué à un taux moyen de 7,5 % par an entre 1990 et 2020<sup>3</sup>, soit 2,5 % de plus que la croissance de l'économie mondiale sur la même période<sup>4</sup>. Dans le même temps, hors domaines de spécialité<sup>5</sup>, les applications militaires ont cessé de tirer l'innovation en électronique. Bien que constituant toujours des intrants critiques pour l'industrie de défense, les circuits intégrés présents dans les systèmes militaires représentent aujourd'hui une part marginale du marché (cf. 1.3). Ils sont essentiellement issus du monde civil, achetés sur étagère et parfois repackagés. Les contraintes de coûts et surtout de qualité nécessitant des productions à grande échelle hors de portée pour des produits spécifiques militaires.

<sup>3</sup> WSTS, bluebook data, août 2024.

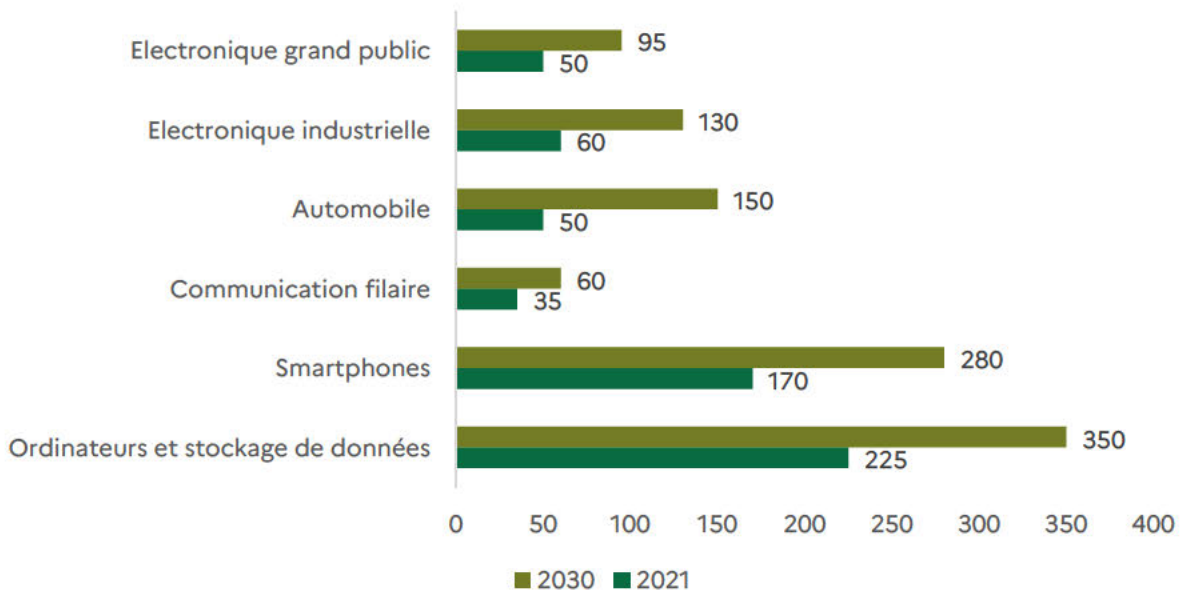
<sup>4</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

<sup>5</sup> Optoélectronique et micro-ondes notamment.

## 1.2. L'industrie des semi-conducteurs connaît actuellement une croissance importante liée à l'augmentation de la demande aval dans les secteurs historiques et à une diversification des usages

Le marché mondial des semi-conducteurs représente un chiffre d'affaires global de l'ordre de 550 à 700 Md\$ en 2024 et devrait dépasser les 1 000 Md\$ d'ici 2030<sup>6</sup>. Le marché plus global des systèmes électroniques (composants assemblés et adaptés au besoin aval, par exemple systèmes embarqués pour l'industrie aéronautique ou automobile) représente quant à lui un volume de l'ordre de 2 000 Md\$ qui irrigue un marché aval estimé à 10 % du PIB mondial<sup>7</sup> (automobile, aéronautique etc.).

Graphique 2 : Évolution anticipée du marché mondial des semi-conducteurs en Md\$



Source : [Le grand continent](#) 8 novembre 2022, « Guerre technologique : 10 points sur les semi-conducteurs », consulté le 22 octobre 2024

Les ordinateurs, les centres de données et les smartphones représentaient en 2021 les deux tiers des débouchés pour les composants semi-conducteurs. (cf. graphique 2). La part des applications industrielles, notamment dans le secteur automobile, sous l'effet du développement des véhicules électriques autonomes, de l'internet des objets, de l'intelligence artificielle et des réseaux de télécommunication (cloud et 5G notamment) et de la santé devrait croître d'ici 2030 et représenter la moitié du marché global<sup>8</sup>.

Tableau 1 : Criticité des composants électroniques par filière aval

Type de composants	Smartphones et réseaux	Ordinateurs	IA et datacenters	Aéronautique et spatial	Automobile	Défense
Puces logiques avancées	***	***	***	*	**	**

<sup>6</sup> Industrie des semi-conducteurs – Analyse de la taille et des parts – Tendances et prévisions de croissance (2024-2029), [Mordor Intelligence](#), consulté le 17 décembre 2024 ; *Expanding our sustainable value creation ambition*, Présentation Soitec, p 9, 8 juin 2023.

<sup>7</sup> *Enjeux et perspectives pour la filière française de la fabrication électronique*, Rapport du Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques, avril 2019, p. 27 ; *La microélectronique*, Présentation DGE, septembre 2023 ; *Panorama de la filière électronique mondiale*, Rapport de la DGE, octobre 2020, p 4.

<sup>8</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

### Annexe III

Type de composants	Smartphones et réseaux	Ordinateurs	IA et datacenters	Aéronautique et spatial	Automobile	Défense
... dont puces logiques GPU	**	**/**	***	*	*	**
Puces logiques matures	*	*	*	***	***	***
Mémoires	***	***	***	**	**	**
Composants analogiques, capteurs, microcontrôleurs	***	**	**	***	***	***
Composants micro-ondes et optoélectronique	**	*	*	**	**	***
Composants de puissance	*	*	*	***	***	***

*Source : Mission, sur la base de l'étude XERFI d'octobre 2023 « La filière électronique en France : l'ère du renouveau » (page 43), du rapport BCG d'avril 2021 et des entretiens menés.*

*Note de lecture : Le niveau de criticité est évalué sur une échelle d'une à trois étoiles, variant entre non essentiel (\*), remplaçable ou ne participant pas à une fonctionnalité de premier rang (\*\*), essentiel (\*\*\*).*

En France, l'automobile et les autres applications industrielles représentaient en 2017 entre 80 et 90 % des ventes de composants électroniques<sup>9</sup>. Les producteurs de composants électroniques européens se sont spécialisés dans la production de composants clés pour ces industries aval (cf. tableau 1). Il s'agit notamment des composants actifs matures (ou ancienne génération), des composants analogiques et d'électronique de puissance. Un retard technologique est constaté sur le segment des composants actifs de dernière génération et des mémoires.

#### 1.2.1. Les secteurs de l'informatique et des télécommunications représentent toujours le principal débouché pour les producteurs de composants logiques et de mémoires

**Le marché des smartphones, des ordinateurs et des infrastructures de télécommunications représente depuis plusieurs années la majeure partie des débouchés pour l'industrie des semi-conducteurs.** Selon les études<sup>10</sup> (cf. graphique 3), la part respective dans le total des ventes de semi-conducteurs de chacun des segments s'élèverait actuellement à 25 %-35 % pour les smartphones, à 15 %-20 % pour les ordinateurs et 15 %-25 % pour les réseaux de communication (dont les datacenters) :

- ♦ dans le cadre du marché des smartphones, la demande est équilibrée entre composants logiques (processeurs), analogiques (capteurs, écrans tactiles, appareils photo, communication radio fréquence) et mémoires. Les processeurs utilisés reposent sur des technologies à l'état de l'art (niveau de gravure le plus fin) pour supporter les nouvelles applications mobiles et diminuer la consommation électrique. Les cartes mémoires doivent également être gravées avec des technologies proches du niveau de gravure le plus fin. **Les composants analogiques peuvent en revanche s'appuyer sur des technologies plus matures, encore accessibles aux industriels européens ;**

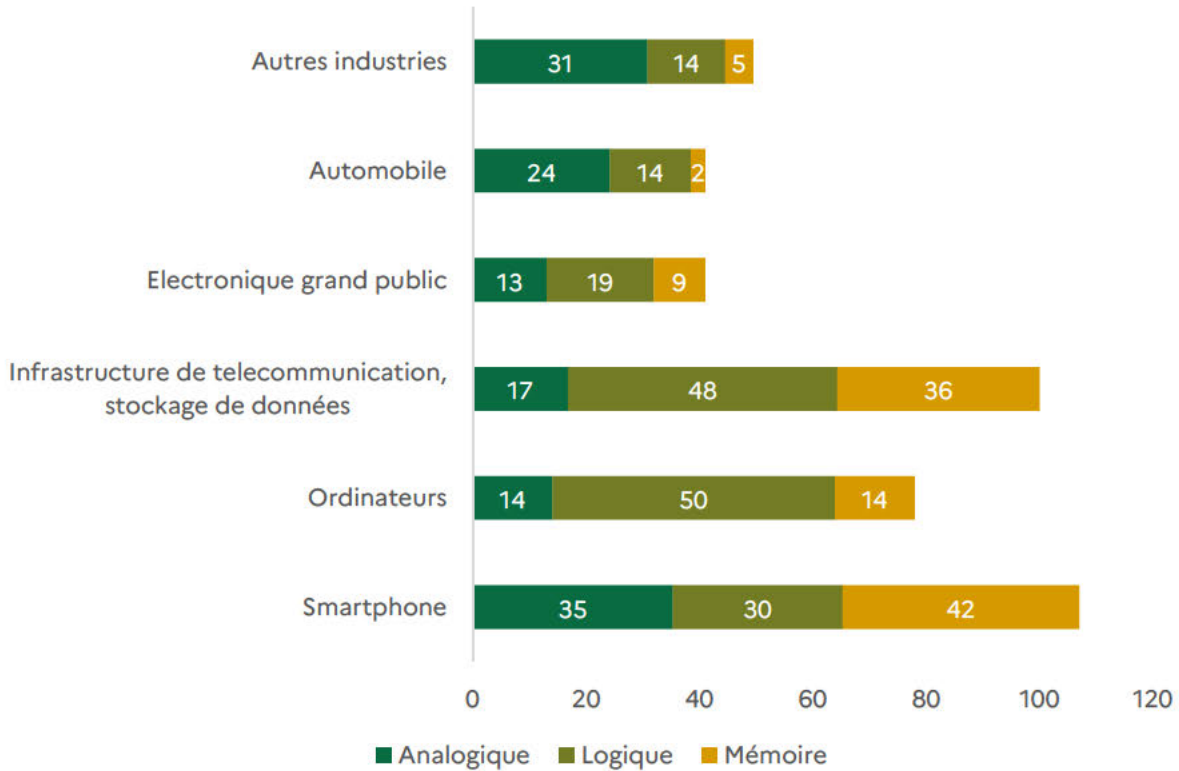
<sup>9</sup> La filière électronique en France : l'ère du renouveau, Étude XERFI, octobre 2023, p 44)

<sup>10</sup> Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021 ; Guerre technologique : 10 points sur les semi-conducteurs, [Le grand continent](#) (8 novembre 2022), consulté le 22 octobre 2024 ; La filière électronique en France : l'ère du renouveau, Étude XERFI, octobre 2023.

### Annexe III

- ◆ sur le marché des ordinateurs et des infrastructures de communication, la demande en composants électroniques est plus déséquilibrée. Elle est concentrée sur les composants logiques (plus de la moitié de la valeur de semi-conducteurs présents dans le produit final). Les composants analogiques représentent quant à eux moins de 20 % de la valeur totale des intrants électroniques.

Graphique 3 : Ventes de semi-conducteurs par type de débouché, en 2019, en Md\$



*Source : Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.*

Les projections disponibles<sup>11</sup> concernant le marché des smartphones font état d'une augmentation moins rapide que celle du marché global des semi-conducteurs (+50 % à +100 % sur la période 2023-2030). Il devrait néanmoins conserver sa première place en termes de débouché pour les composants logiques et les mémoires dans les prochaines années. **Une augmentation importante est attendue sur le marché des ordinateurs et du traitement de données (+170 % entre 2023 et 2030), qui devrait être tiré par l'augmentation du nombre de datacenters en lien avec le développement de l'IA<sup>12</sup>.** La demande en circuits intégrés logiques spécifiquement dédiés à l'IA devrait très fortement augmenter sur la même période (multiplication par un facteur 10). Les ventes de PC devraient également augmenter, dans des proportions moindres (+75 %).

<sup>11</sup> Industrie des semi-conducteurs – Analyse de la taille et des parts – Tendances et prévisions de croissance (2024-2029), [Mordor Intelligence](#), consulté le 17 décembre 2024 ; ; Guerre technologique : 10 points sur les semi-conducteurs, [Le grand continent](#) (8 novembre 2022), consulté le 22 octobre 2024 ; *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>12</sup> *Analysis of Semiconductor Market by Application as well as Supply and Demand*, Rapport IBS, avril 2024.

**Faute de capacités de production au niveau de gravure le plus avancé, les acteurs français et européens ne produisent plus de processeurs et de mémoires à destination de ce marché. Ils sont en revanche présents sur le segment des circuits analogiques, en particulier à haute fréquence et de puissance, des microcontrôleurs et des composants optoélectroniques.**<sup>13</sup> L'entreprise STMicroelectronics assure notamment la fourniture de plusieurs composants électroniques pour l'iPhone d'Apple (détecteur infrarouge, circuit de contrôle tactile 3D) sur son site de Crolles 2. Soitec, seconde entreprise française de production de semi-conducteurs, réalise également une part significative de son chiffre d'affaires (plus de la moitié) sur le segment des composants analogiques à destination des smartphones

### **1.2.2. L'internet des objets et l'intelligence artificielle sont des secteurs en croissance qui nécessitent des semi-conducteurs adaptés**

**Les progrès récents de l'intelligence artificielle résultent de trois facteurs : la progression des volumes de base de données, la progression des capacités de calcul,** et dans une moindre mesure l'évolution algorithmique<sup>14</sup>. Si l'intelligence artificielle a émergé dans le débat public au début des années 2020, les premières applications de cette technologie sont relativement anciennes : reconnaissance de montants sur des chèques, reconnaissance optique de caractères, applications industrielles pour la reconnaissance de défauts sur des pièces manufacturées par exemple. Des jalons importants ont été franchis entre 2010 et 2020 par des modèles qui sont venus dépasser la performance humaine sur certains segments spécifiques grâce aux puissances de calcul disponibles :

- ◆ d'abord dans le domaine de la reconnaissance d'image dès 2012 ;
- ◆ en 2016 avec le premier algorithme d'apprentissage non supervisé ayant battu le champion du monde de go ;
- ◆ à la fin des années 2010 et au début des années 2020 pour ce qui concerne les principaux domaines du langage.

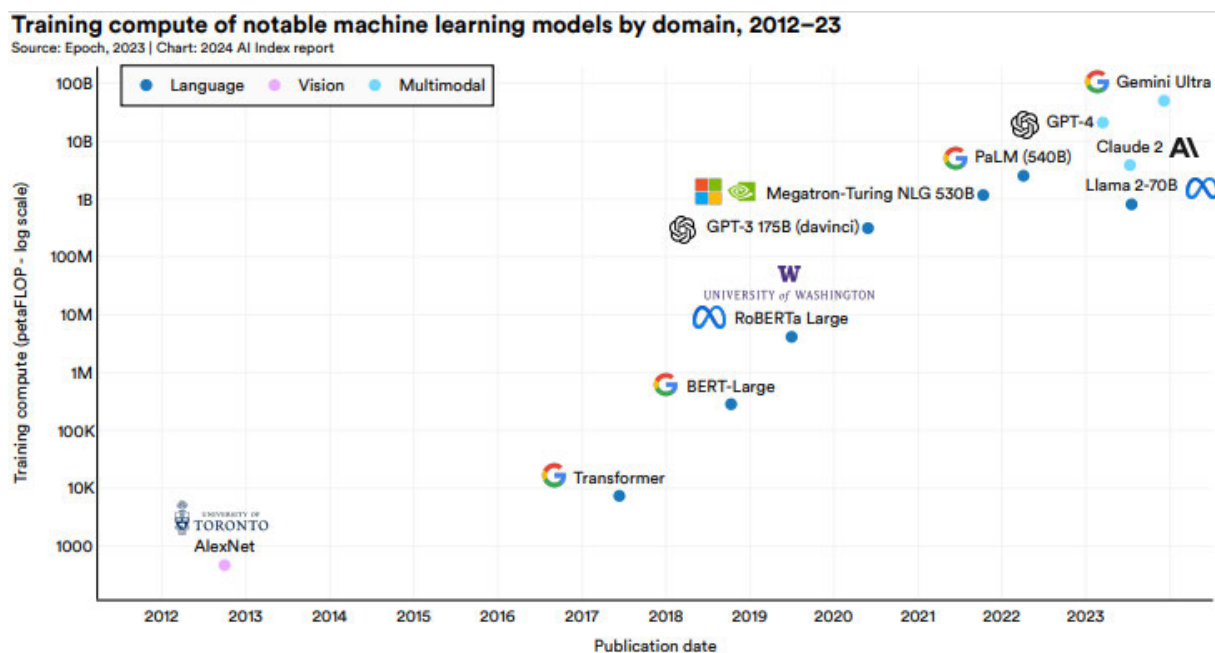
Depuis 2018, la puissance de calcul nécessaire pour entraîner les algorithmes a en effet augmenté exponentiellement, doublant environ tous les trois mois, soit un rythme beaucoup plus rapide que celui guidant la puissance des processeurs (loi de Moore, multiplié par deux tous les deux ans, cf. 2.4.1). Dans ce cadre, le recours au calcul parallèle (et donc aux processeurs graphiques en nombre de plus en plus important) popularisé par le modèle AlexNet en 2012 est devenu la norme. Cette rupture a également conduit à une augmentation exponentielle des coûts d'entraînements : alors que les modèles à l'état de l'art pouvaient être entraînés pour quelques centaines de dollars à la fin des années 2010, le coût d'entraînement du modèle Gemini de Google est estimé à plus de 190 M\$. La demande en tels processeurs graphiques est actuellement très forte, tirée par les entreprises spécialisées dans l'intelligence artificielle de pointe.

---

<sup>13</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>14</sup> AI and compute, [Open AI](#), (16 mai 2018), consulté le 17 décembre 2024.

Graphique 4 : puissance de calcul nécessaire pour entrainer les algorithmes d'IA à l'état de l'art



Source : AI index report 2024, Stanford University.

**Le marché des GPU est actuellement largement dominé par une entreprise américaine, Nvidia, qui a vu son chiffre d'affaires multiplié par six entre 2012 et 2022.** L'activité de l'entreprise américaine AMD est également tirée par la production de GPU, son chiffre d'affaires ayant doublé en un an sur ce segment<sup>15</sup>. Les principaux groupes européens (STMicroelectronics, Infineon, NXP) ne sont quant à eux pas présents sur ce segment stratégique et à haute valeur ajoutée. La stratégie française et européenne cible au contraire le segment de l'intelligence artificielle embarquée, plus en phase avec ses forces industrielles à l'aval. Elle se distingue par les contraintes particulières pesant sur la partie inférence<sup>16</sup> du modèle : rapidité, stabilité, puissance de calcul et ou énergie disponible limitée.

**L'internet des objets (*internet of things*, IoT) constitue un autre marché émergent en forte demande de composants électroniques.** Il s'agit d'un marché protéiforme, qui recouvre l'ensemble des objets physiques disposant de capteurs, de logiciels et d'une connectivité réseau leur permettant de collecter et de partager des données<sup>17</sup>. Les domaines d'applications sont pluriels, en comptent par exemple :

- ◆ dans le domaine de la santé : surveiller les patients à distance, collecter et analyser des données en temps réel sur leurs constantes vitales ;
- ◆ dans le domaine de l'industrie : optimiser les performances des machines, détecter les défaillances des équipements et optimiser les processus de production ;

<sup>15</sup> F. Debes, (31 juillet 2024). « Les investissements dans l'IA transforment les fabricants de puces », Les Échos.

<sup>16</sup> Les phases d'entraînement et d'inférence sont deux étapes cruciales dans le cycle de vie des modèles d'intelligence artificielle (IA). L'entraînement est la phase d'apprentissage où le modèle ajuste ses paramètres, et l'inférence est la phase d'application où le modèle, désormais optimisé, est utilisé pour traiter de nouvelles données. L'entraînement est computationnellement intensif (nécessitant souvent des GPU), tandis que l'inférence est généralement plus légère en calcul, car elle consiste simplement à appliquer le modèle.

<sup>17</sup> Qu'est-ce que l'internet des objets ?, [IBM](#), consulté le 23 octobre 2024

### Annexe III

- ◆ dans le domaine de l'agriculture : mesurer les conditions du sol, les conditions météorologiques et la croissance des cultures. Par exemple, des capteurs peuvent être utilisés pour mesurer la teneur en humidité du sol, garantissant ainsi que les cultures sont irriguées au moment optimal ;
- ◆ dans le secteur du transport : analyser les performances des véhicules, optimiser les itinéraires et suivre les expéditions. Par exemple, les capteurs peuvent être utilisés pour surveiller l'efficacité énergétique des voitures connectées, réduire les coûts en carburant et améliorer la durabilité.

Les composants électroniques, éventuellement couplés avec un système mécanique (par exemple une voiture, un tracteur, un compteur électrique analogique, un thermomètre etc.) constituent les briques technologiques de base de l'IoT : il s'agit de capteurs, d'éléments de connectivité et de télécommunications (WiFi, Bluetooth, cloud) et d'outils d'analyse en temps réel (mémoires, puces logiques, processeurs d'IA embarquée). Les caractéristiques de production des objets dans le domaine de l'IoT<sup>18</sup> (petites et moyennes séries, grande variabilité, courts délais de mise sur le marché et fort besoin de personnalisation) en font des débouchés naturels pour la filière électronique française, qui peut se distinguer sur un ou plusieurs segments spécifiques.

#### **1.2.3. L'industrie automobile constitue un débouché domestique en croissance et en pleine mutation sur lequel se sont concentrés les producteurs européens de semi-conducteurs**

L'industrie automobile constitue un débouché de second rang pour les composants électroniques. Elle représenterait actuellement entre 10 % et 15 % de la demande totale en semi-conducteurs, relativement loin du secteur des télécommunications et de l'informatique<sup>19</sup>. Dans le contexte français et européen, l'industrie automobile se révèle néanmoins particulièrement stratégique :

- ◆ la France dispose d'un tissu industriel automobile historique sur son sol, avec des fleurons tels que Renault et Stellantis et d'équipementiers de premier rang comme Valéo. Au niveau européen, l'industrie automobile constitue l'un des piliers de la croissance allemande des deux dernières décennies.

---

<sup>18</sup> *Enjeux et perspectives pour la filière française de la fabrication électronique*, Rapport du Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques, avril 2019.

<sup>19</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021 ; *Mission sur la préparation d'un plan d'actions visant à renforcer la résilience de l'industrie française face aux vulnérabilités de l'approvisionnement en composants électroniques*, Rapport du Conseil général de l'économie, août 2023.

- ◆ **les besoins en composants électroniques de l'industrie automobile sont spécifiques et correspondent aux capacités de production de l'industrie électronique domestique.** L'Europe a conservé des parts de marchés importantes sur le segment de l'électronique automobile.<sup>20</sup> En 2019, la demande en composants analogique représentait 60 % des besoins, les composants logiques 35 % et les mémoires 5 %<sup>21</sup>. En 2023, la demande se serait rééquilibrée, les composants analogiques représentant 45 % des besoins, les composants logiques 45 % et les mémoires environ 10 %. Concernant les composants logiques, les besoins de l'industrie automobile concernent essentiellement des composants matures, du fait de besoins en calculs moins intensifs que dans l'industrie du smartphone et de standards de fiabilité et de qualité très exigeants<sup>22</sup>. L'automobile représente également un débouché majeur pour les microcontrôleurs<sup>23</sup> spécialité de l'entreprise STMicroelectronics.
- ◆ **une forte croissance de la demande de l'industrie automobile** en composants liée à l'intégration de plus en plus importante de systèmes électroniques dans les véhicules. La demande globale devrait ainsi tripler<sup>24</sup> en valeur entre 2020 et 2030 (cf. graphique 2), et constitue une locomotive de croissance pour l'industrie électronique dans son ensemble. La croissance de la demande en composants électronique devrait être soutenue par trois tendances de fond sur le marché automobile :
  - véhicules autonomes : le développement des véhicules autonomes s'accompagne d'une augmentation des besoins en composants<sup>25</sup> analogiques (capteurs, caméras, LIDAR) mais également en composants logiques et mémoires. L'évolution vers des véhicules de plus en plus autonome devrait également amener à une diversification des besoins de l'industrie automobile, vers des composants logiques et mémoires de plus en plus perfectionnés pour supporter les besoins en IA embarquée ;
  - véhicules connectés : le développement des systèmes d'assistance, de divertissement et de sécurité (informations à bord, navigation et GPS, distraction radio musique) est également à l'origine d'une croissance de la demande<sup>26</sup> ;
  - véhicules électriques : l'électrification progressive des véhicules s'accompagne de besoins nouveaux en composants électroniques, notamment sur le segment de l'électronique de puissance dont le marché devrait quintupler entre 2020 et 2030. La demande en carbure de silicium est orientée à la hausse, et les sociétés Mersen et Soitec investissent pour augmenter leur capacité de production de carbure de silicium cristallin.<sup>27</sup> Au niveau européen, l'entreprise STMicroelectronics constitue un acteur important derrière l'allemand Infineon<sup>28</sup>.

---

<sup>20</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>21</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

<sup>22</sup> *Mission sur la préparation d'un plan d'actions visant à renforcer la résilience de l'industrie française face aux vulnérabilités de l'approvisionnement en composants électroniques*, Rapport du Conseil général de l'économie, aout 2023.

<sup>23</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>24</sup> Guerre technologique : 10 points sur les semi-conducteurs, [Le grand continent](#) (8 novembre 2022), consulté le 22 octobre 2024 ; *Mission sur la préparation d'un plan d'actions visant à renforcer la résilience de l'industrie française face aux vulnérabilités de l'approvisionnement en composants électroniques*, Rapport du Conseil général de l'économie, aout 2023.

<sup>25</sup> *Mission sur la préparation d'un plan d'actions visant à renforcer la résilience de l'industrie française face aux vulnérabilités de l'approvisionnement en composants électroniques*, Rapport du Conseil général de l'économie, aout 2023.

<sup>26</sup> *Ibid*

<sup>27</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>28</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

**La mutation du marché de l'automobile constitue donc une opportunité pour les industries électroniques européennes.** La production électronique domestique est bien alignée avec les besoins actuels des constructeurs automobiles, qui demeurent des industries compétitives sur un marché en croissance. L'évolution profonde du marché va par ailleurs rebattre les positions dominantes, avec des gains de parts de marchés attendus pour les constructeurs qui auront réussi à développer avec succès la voiture de demain.

Les compétences pour produire un véhicule électrique, autonome et connecté ne sont néanmoins pas les mêmes que pour un véhicule thermique et piloté par un humain. Dans ce cadre, le système d'exploitation des véhicules constituera un élément différenciant de premier ordre. Or, si l'Europe dispose d'un savoir-faire automobile historique, son positionnement sur les briques logicielles (ex. intelligence artificielle embarquée) et matérielles (ex. accélérateur IA spécifique) ou encore certains sous-systèmes (capteurs et interface hommes-machines avancés tels que les Lidars, la commande vocale, la reconnaissance faciale, etc.) est plus fragile.<sup>29</sup> Ce renversement des compétences socles dans une industrie historique va probablement amener de nouveaux acteurs issus du monde de la tech à se positionner (cf. encadré 1).

**Les besoins en composants électroniques de l'industrie automobile sont de nature à évoluer avec la mutation de la filière.** Alors que la demande en composants logique fins (<10 nm) et mémoires est actuellement quasi nulle dans ce secteur, il est possible que la situation évolue pour permettre d'embarquer des systèmes d'intelligence artificielle capables de traiter en temps réel les flux de données issus des différents capteurs. Dans ce cas, les capacités de production domestiques en composants électroniques seraient *de facto* désalignées des besoins des industries automobiles. Par ailleurs, si les entreprises européennes (Infineon, NXP, STMicroelectronics) restent bien placées le segment des composants « matures », aucun champion ne se distingue<sup>30</sup>. Face à la consolidation du secteur largement engagé sur les autres continents, elles apparaissent aujourd'hui comme des entreprises de taille moyenne.

#### Encadré 1 : l'entreprise Tesla

L'entreprise Tesla est un nouvel acteur sur le marché de l'automobile. Sous l'impulsion de son fondateur originaire du monde de la tech, l'entreprise a développé un modèle économique original qui repose sur l'innovation technologique dans deux domaines : les véhicules électriques et l'autonomie. Dans ce cadre, Tesla a développé des technologies propres en termes de software et de hardware. La *Full-Self Driving (FSD)* est le logiciel développé par Tesla pour rendre les véhicules autonomes. Il s'agit essentiellement d'un modèle d'intelligence artificielle reposant sur des réseaux de neurones, conçu pour permettre à la voiture d'effectuer des trajets complexes de manière autonome, y compris la conduite en ville, la reconnaissance des feux de signalisation, et les changements de voie automatiques. Ce réseau a été entraîné sur la base des trajets réalisés par les véhicules Tesla équipés de capteurs en conditions réelles. En mode embarqué, il s'appuie sur un ensemble de caméras disposées autour du véhicule pour créer une vision en temps réel de l'environnement.

Afin de limiter sa dépendance envers les fournisseurs traditionnels de composants électroniques, Tesla a conçu son propre processeur dédié à l'Intelligence artificielle pour ses voitures autonomes. Ce processeur, appelé FSD Computer (ou « *Hardware 3* »), est conçu spécifiquement pour les calculs de réseaux neuronaux et pour traiter des images et des données en temps réel pour la conduite autonome. Tesla a également développé certains composants électroniques de puissance, et notamment son propre convertisseur de puissance (des batteries vers les moteurs électriques) dans le cadre de sa stratégie de développement d'un véhicule électrique.

*Source : [Analyse du modèle commercial de Tesla](#), site Disfold, 25 aout 2024 ; [Modèle économique de Tesla](#), The business model analyst, Daniel Pereira, 29 juillet 2014 ; [Tesla hardware 4](#), autopilot review ; consultés le 23 octobre 2024.*

<sup>29</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>30</sup> *Mission sur la préparation d'un plan d'actions visant à renforcer la résilience de l'industrie française face aux vulnérabilités de l'approvisionnement en composants électroniques*, Rapport du Conseil général de l'économie, aout 2023.

#### 1.2.4. L'aéronautique et le spatial, deux industries européennes fortes qui ont des besoins importants en composants électroniques

Les équipements et systèmes électroniques, désignés sous le terme « *d'avionique* », sont des composants essentiels dans les avions modernes. Ils représentaient avant la crise COVID un marché annuel de l'ordre de 20 Md€<sup>31</sup>. Ces équipements peuvent être répartis en quatre grandes familles<sup>32</sup> :

- ◆ systèmes de contrôle de vol (capteurs, radars) ;
- ◆ systèmes utilisés pour la communication, la navigation et la surveillance ;
- ◆ système de contrôle de l'état de l'appareil ;
- ◆ système de gestion de vol.

**Le secteur aéronautique constitue un débouché important pour les industriels européens, puisqu'il est à la fois spécialisé, présentant des exigences qualités élevées sur des petites séries, et technologiquement accessible, s'appuyant sur des technologies souvent matures<sup>33</sup>.** Les commandes d'avions étant généralement réalisées sur une base pluriannuelle, l'avionique constitue par ailleurs un marché qui présente des garanties en termes de visibilité. Enfin, contrairement au secteur de l'automobile, le secteur aéronautique ne devrait pas connaître de mutation profonde à court ou moyen terme, même si l'électrification reste un horizon cible de long terme. De ce fait, la plupart de ces composants sont actuellement fabriqués en Europe, à l'exception de ceux à destination des équipements de divertissement.<sup>34</sup>

Dans le domaine du spatial, les commandes sont tirées par le programme Ariane 6, qui a néanmoins connu d'importants retards, et par la vague du *new space*, ou constellation de micro satellites en orbite basse destiné aux réseaux de télécommunication.<sup>35</sup>

#### 1.3. La disponibilité de certains composants électroniques entrant dans la composition de systèmes d'armement leur confère *de facto* une dimension stratégique

**Tous les systèmes d'armement conventionnels et ceux utiles à la dissuasion nucléaire intègrent des composants électroniques plus ou moins sophistiqués<sup>36</sup>.** En ce sens, la disponibilité de ces composants revêt une dimension stratégique en termes de sécurité nationale. Réciproquement, **le marché des applications de défense constitue un débouché de niche sur le plan économique pour les industriels produisant des composants semi-conducteurs.** Il représente une part stable d'environ 1 % des ventes de composants entre 2003 et 2019.<sup>37</sup>

---

<sup>31</sup> La part de l'électronique dans l'industrie aéronautique représentait en 2017 plus de 17 Md€ et près de 23 Md€ en 2021 : *Enjeux et perspectives pour la filière française de la fabrication électronique*, Rapport du Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques, avril 2019.

<sup>32</sup> *Ibid*

<sup>33</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>34</sup> *Enjeux et perspectives pour la filière française de la fabrication électronique*, Rapport du Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques, avril 2019.

<sup>35</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>36</sup> Les composants électroniques font partie intégrante des systèmes d'armement depuis les années 1960, date de lancement du missile intercontinental Minuteman II, doté pour la première fois d'un système de guidage comprenant des circuits intégrés (M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.)

<sup>37</sup> *Ibid*, p 16.

### Annexe III

Depuis que le *department of defense* américain a décidé de se fournir sur le marché civil en 1994 dans le cadre du *memorandum Perry*, la doctrine adoptée par les pays développant leurs propres systèmes d'armement est la suivante : sauf exception, les composants utiles pour la défense nationale sont issus de technologies développées dans un cadre civil, achetés à des entreprises privées et intégrés dans un système militaire. Ces composants sont pour la plupart dérivés de technologies matures, notamment du fait des normes de fiabilité imposées par les donneurs d'ordre. Il n'est donc généralement pas nécessaire de disposer de capacités de productions à l'état de l'art pour assurer son indépendance stratégique sur le plan militaire<sup>38</sup>. En revanche, conserver des savoir-faire technologiques sur l'ensemble de la chaîne de valeur permet de produire domestiquement ou *a minima* de rapatrier la production en cas de rupture dans la chaîne d'approvisionnement.

Les exceptions au principe d'achat de composants civils correspondent aux technologies répondant à l'un des deux critères suivants :

- ◆ **des exigences particulières en termes de sécurité d'approvisionnement** : ces exigences ont trouvé un nouvel écho au moment de la pandémie de COVID en 2021, qui a donné lieu à une grave crise des composants. Elles concernent également certaines technologies destinées à l'export pour lesquels il apparaît stratégique de s'affranchir de la norme américaine ITAR (*cf.* encadré 2).
- ◆ **des besoins particuliers en termes de performances** qui ne se retrouvent pas dans le cadre civil. En France, trois technologies considérées comme sensibles sont entretenues exclusivement pour des besoins militaires, et financées par le ministère des armées *via* le programme 144 :
  - **détecteurs infrarouges refroidis**<sup>39</sup> (LYNRED) : ces détecteurs sont maintenus à une température extrêmement basse par cryogénie afin de réduire le bruit thermique à un niveau inférieur à celui du signal émis par la scène. Leur principal avantage est qu'ils disposent d'une résolution et d'une sensibilité élevées, offrant ainsi une très bonne qualité d'image ;
  - **technologie GaN** (radar, brouilleurs, lasers) (UMS) : le nitrure de gallium (GaN) est un matériau particulièrement adapté à la fabrication de circuits intégrés hautes fréquences pour des applications en télécommunications, spatiales ou militaires. Ces composants permettent notamment d'améliorer le niveau de puissance, le rendement et la compacité des systèmes radars, d'antennes actives ou des systèmes de guerre électronique.<sup>40</sup> Ces technologies ont fait l'objet d'espionnage industriel par la Chine et la Russie en 2018<sup>41</sup> ;
  - **intensificateurs de lumière** EXOSENS anciennement PHOTONIS (tentative de rachat par un industriel américain, finalement racheté par un fonds luxembourgeois et rentré en bourse en juillet 2024) : l'intensification de lumière utilise et amplifie la lumière résiduelle existante pour recréer une image exploitable par l'œil humain, dans des conditions lumineuses faibles. Ce principe sert notamment dans les lunettes de vision nocturne.<sup>42</sup>

---

<sup>38</sup> Cette situation pourrait néanmoins évoluer si les nouvelles technologies (IA par exemple) étaient utilisées de façon extensive dans les systèmes d'armement obligeant notamment les pays visant les plus hauts niveaux de souveraineté à faire revenir des fonderies à l'état de l'art sur leur sol (M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.)

<sup>39</sup> 5 choses à savoir sur la technologie infrarouge, (6 mai 2020). [Lynred](#), consulté le 18 décembre 2024 ; Comparaison caméras thermiques refroidies VS non refroidies, [Thermoconcept](#), consulté le 18 décembre 2024.

<sup>40</sup> GREAT : développer une technologie de nitrure de gallium (GaN), enjeu stratégique pour la défense, (4 mars 2021). [Agence de l'innovation de défense](#), consulté le 18 décembre 2024.

<sup>41</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023 ; (27 juillet 2023). « Des secrets industriels de la France livrés à la Chine et à la Russie ? Ce que l'on sait », [Ouest France](#).

<sup>42</sup> L'intensification de la lumière, [NODS](#), consulté le 18 décembre 2024

**Encadré 2 : la réglementation ITAR**

La loi ITAR (*International Traffic in Arms Regulations*) est une législation américaine qui régule l'exportation et l'importation de matériel militaire et de technologies à usage de défense. Il s'agit d'un instrument puissant de contrôle des exportations américaines, non seulement sur le territoire des États-Unis mais aussi à l'international. Son objectif principal est de contrôler la circulation de technologies sensibles pour protéger la sécurité nationale des États-Unis et prévenir la prolifération d'armements à travers le monde. Elle impose des contrôles stricts sur les articles, services, et technologies figurant sur la *United States Munitions List* (USML), qui inclut notamment :

- Les équipements militaires (ex. : armes, munitions, véhicules militaires, etc.).
- Les logiciels et technologies spécifiquement développés ou modifiés pour des applications militaires.
- Les services liés aux armes ou à la défense, comme la formation et la maintenance.

Toute entité (entreprises ou individus) qui fabrique, exporte ou propose des services liés à ces articles doit obtenir une autorisation spécifique du gouvernement américain avant toute exportation ou transmission à un pays étranger ou à des personnes étrangères.

L'une des particularités de l'ITAR est son caractère extraterritorial, c'est-à-dire que ses règles et sanctions s'appliquent même en dehors des frontières des États-Unis. Les entreprises étrangères qui reçoivent des technologies, des données ou des composants contrôlés par l'ITAR, même si elles sont basées en dehors des États-Unis, doivent ainsi se conformer aux règles ITAR. La transmission de données ou de technologies à un ressortissant étranger (y compris dans des entreprises ou universités américaines) est également considérée comme une exportation et est soumise à des restrictions. Les filiales étrangères de sociétés américaines sont également soumises à la réglementation ITAR si elles manipulent des produits ou des technologies relevant de la défense.

En complément de la loi ITAR, le gouvernement américain mobilise son poids diplomatique pour restreindre l'accès de la Chine aux technologies stratégiques développées par leurs alliés. En janvier 2023, les États-Unis, le Japon et les Pays-Bas sont ainsi parvenus à un accord, qui a notamment pour conséquence de stopper les exports de machines de photolithographie de l'entreprise hollandaise ASML à destination de la Chine, freinant de ce fait les progrès des fondeurs chinois dans le domaine des puces avancées.

*Source* : « les réglementations américaines du contrôle des exportations », Ministère des armées ; « Les réglementations américaines de contrôle à l'exportation de biens sensibles », SGDSN ; « Extraterritorialité : angle mort de la sécurité économique européenne », institut Montaigne, Note d'enjeux, mars 2024.

## 2. Les entreprises françaises et européennes ont préservé un savoir-faire sur le segment des puces matures et des composants analogiques mais ne disposent pas de capacités de production sur le segment des puces avancées

### 2.1. La microélectronique constitue une industrie mondialisée, fortement connectée et intensive en capital dont une minorité d'acteurs maîtrise l'ensemble de la chaîne

#### 2.1.1. L'industrie des semi-conducteurs a connu un fort effet de spécialisation qui s'est accéléré avec l'introduction des modèles « *fables* »

La chaîne de valeur de l'industrie électronique (cf. graphique 5) présente deux grands pôles de spécialisation :

- ◆ **en amont de la chaîne de valeur, la conception du circuit (ou design) est la partie qui concentre la plus grande valeur économique** (de l'ordre de 60 %, dont près de la moitié sur les circuits intégrés logiques<sup>43</sup>). Les acteurs américains sont dominants sur les segments de la conception des composants logiques et des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO). La part de la conception est plus faible pour les mémoires, constituées essentiellement de cellules de base répétées. Elle est dominée par la Corée (60 % du marché). La conception des circuits analogiques est plus morcelée, l'Europe y conservant 17 % de parts de marché ;
- ◆ **la production industrielle des composants concentre une valeur économique de l'ordre de 40 %**, qui comporte néanmoins deux importants goulots d'étranglement : le premier dans le domaine des machines de photo-lithographie, qui constitue un quasi-monopole de l'entreprise hollandaise ASML ; le second dans le domaine de la fonderie de circuits avec des longueurs de grille inférieures à 7 nm, qui constitue un domaine de spécialité de l'entreprise taiwanaise TSMC. Le segment de l'assemblage et du test de circuits, nécessitant une main-d'œuvre bien plus nombreuse est concentré dans les pays à faible coût de main-d'œuvre (en Asie mais aussi au Mexique ou au Maroc).

---

<sup>43</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024.

**À l'origine entièrement intégrée verticalement dans de grands groupes informatiques ou électroniques, les acteurs se sont progressivement spécialisés sur un segment de la chaîne de valeur du fait des investissements nécessaires pour développer les nouvelles générations de composants.** La loi de Rock estime que pour soutenir le rythme de miniaturisation des composants et du fait de l'évolution du coût des machines de photolithographie, le coût de déploiement d'une fonderie double tous les quatre ans. En 2023, les dépenses d'investissement des trois entreprises encore dans la course au *More Moore* ont ainsi atteint 37 Md\$ pour Samsung, 30,5 Md\$ pour TSMC et 25,8 Md\$ pour Intel. En parallèle, les coûts associés à la conception des puces augmentent également de façon exponentielle, passant de 30 M\$ pour une puce sur une technologie 28 nm à 327 M\$ sur une technologie 3 nm. L'augmentation de ces coûts a conduit la plupart des entreprises à se spécialiser sur une partie de la chaîne de valeur pour pouvoir concentrer leurs investissements et rester compétitives. De ce fait, il existe à présent une distinction entre trois types de sociétés électroniques selon qu'elles agissent sur tout ou partie de la chaîne allant de la conception à l'assemblage :

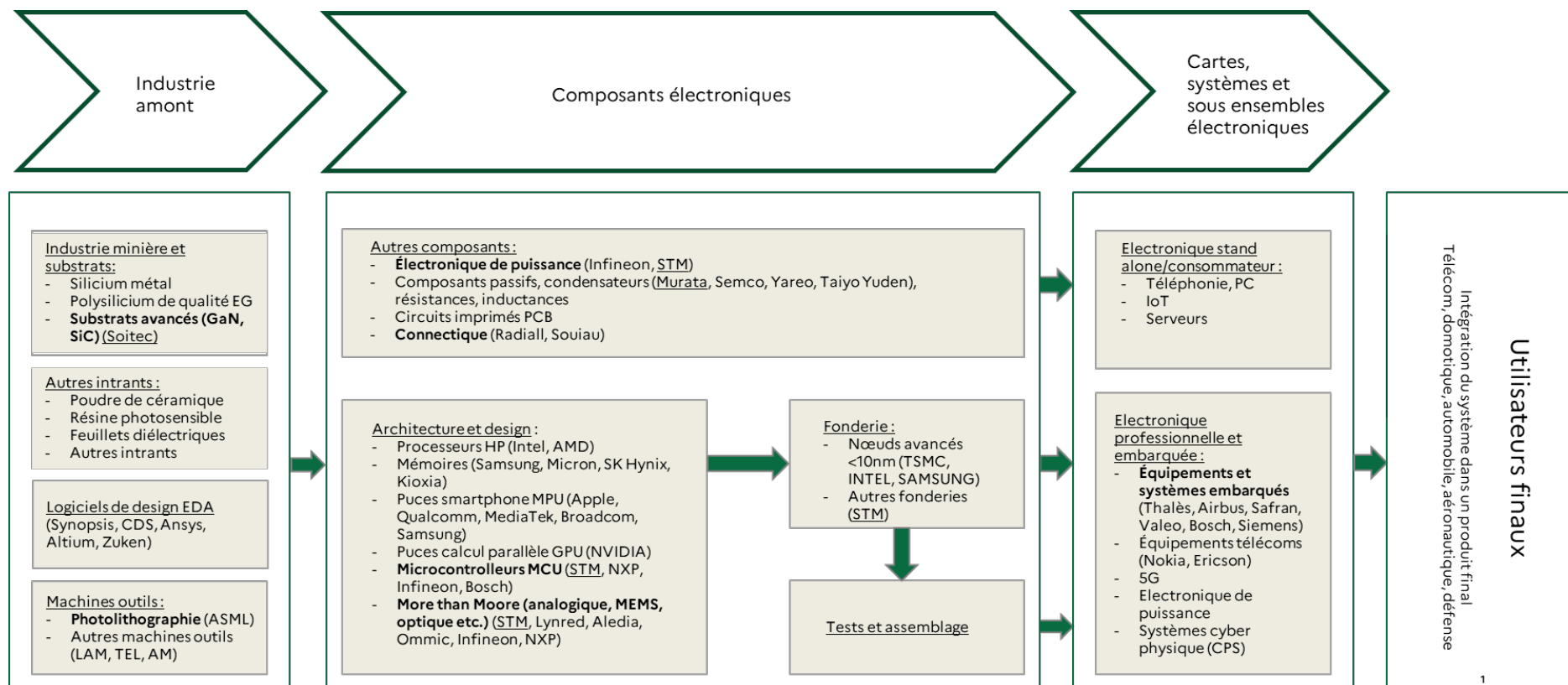
- ◆ les fabricants traditionnels de circuits intégrés communément appelés IDM (*integrated device manufacturers*) qui réalisent eux-mêmes toutes les étapes de la conception à la fabrication en passant par la vente des puces, comme les américains Intel, Texas Instruments, les européens STMicroelectronics ou Infineon ou le coréen Samsung. Néanmoins, parmi les IDM, seul le coréen Samsung dispose de capacité de fonderie à l'état de l'art (niveau de gravure 3nm) ;
- ◆ les sociétés *fabless*, comme Nvidia, Qualcomm, Apple ou ARM, spécialisées dans la conception, qui conçoivent et vendent leurs puces, mais sous-traitent leur fabrication à des fondeurs ;
- ◆ les sociétés de fonderies, spécialisées dans la production, qui usinent les *wafers* à partir des plans de leurs clients, comme les taiwanais TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing) et UMC (United Microelectronics Corp.), GlobalFoundries.

**Par ailleurs, la vitesse des progrès réalisés en termes de finesse de gravure conduit à une obsolescence rapide des technologies et des investissements réalisés.** Pour rester dans la course au *More Moore*, les industriels doivent pouvoir soutenir des investissements continus et croissants. Ce phénomène conduit à un phénomène de concentration et à l'éviction progressive des acteurs qui n'ont pas les moyens financiers de soutenir cette trajectoire. Les autres acteurs doivent repositionner leur production sur des segments technologiques différenciants, moins intensifs en capital (stratégie « *More than Moore* ») : microsystèmes électromécaniques (MEMS), circuits spécifiques (ASIC), composants passifs ou encore adoption de nouveaux substrats (applications dans le domaine de l'électronique de puissance, de l'optoélectronique ou des capteurs).

Plus en aval de la chaîne de production se trouvent des entreprises à moindre valeur ajoutée spécialisées dans l'assemblage, le test et conditionnement (*assembly, testing and packaging, ATP*). Elles sont principalement situées en Chine, à Taiwan et dans les pays émergents d'Asie du sud-est. Des pays émergents sont également présents de manière non négligeable sur ce marché (à hauteur de 20 % du total), en particulier la Malaisie, les Philippines et le Vietnam (*cf. 2.5*).

### Annexe III

Graphique 5 : Chaîne de valeur de la filière électronique



Source : Mission, sur la base de l'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022 ; contrat stratégique de filière industrie électronique 2018-2022 ; note DGE sur la dépendance et les vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique.

Note de lecture : en gras, segments sur lesquels les entreprises européennes disposent de savoir-faire ; souligné, entreprises aidées dans le cadre du programme Nano 2022.

### 2.1.2. La spécialisation des acteurs a entraîné une mondialisation de l'industrie, qui génère des flux commerciaux très importants entre pays

**La structure actuelle de la chaîne de valeur repose sur un système complexe d'interdépendance entre les acteurs industriels.** En effet, la valeur créée par les entreprises spécialisées dans la conception n'existerait pas sans les capacités de production physiques de composants électroniques ; en retour, les fonderies ne sauraient exercer une position dominante vis-à-vis de l'amont de la chaîne, ne disposant pas en interne des savoir-faire pour concevoir les puces. De ce fait, il existe une réelle complémentarité entre les acteurs industriels positionnés aux différents échelons de cette chaîne verticale.

Ainsi, la production d'un simple processeur de smartphone peut s'appuyer sur une architecture conçue aux États-Unis, une plaquette ou « *wafers* » produite au Japon et fondue à Taiwan par une machine hollandaise avant d'être assemblée en Chine ou en Malaisie. La durée nécessaire pour passer d'un « *wafers* » brut à un circuit intégré dans un système électronique complexe est estimée à trois à six mois par les industriels.

### 2.2. L'industrie des intrants est dominée par des entreprises asiatiques, alors que l'entreprise hollandaise ASML est en quasi-monopole sur le marché des machines de photolithographie haute performance

#### 2.2.1. La production d'intrants minéraux et chimiques constitue une spécialité asiatique, même si une entreprise française se démarque sur le segment des intrants gazeux

Si la ressource minérale peut dans certains secteurs constituer un facteur de dépendance (le lithium dans les batteries par exemple), ce n'est pas le cas **du silicium, matériaux de base des composants électroniques, qui est largement disponible sur l'ensemble de la surface terrestre.** Certains éléments chimiques permettant de fabriquer des alliages semi-conducteurs avancés (semi-conducteurs de type III-V, comme le GaN, le GaAs ou l'InP, ou II-VI) sont néanmoins plus rares et moins équitablement répartis. C'est le cas du Gallium<sup>44</sup> et de certaines terres rares<sup>45</sup> qui sont principalement présentes en Chine (cf. Annexe V).<sup>46</sup>

---

<sup>44</sup> Il existait au début du XXI<sup>e</sup> siècle deux importants sites de production de gallium raffiné en France, avec des capacités totales de production d'environ 20 t/an : Noyelles-Godault (Pas-de-Calais), exploité par Metaleurop et fermé en 2003 ; Salindres (Gard), exploité par GEO Gallium, avec des capacités de production de 18 t/an, fermé en 2006 (*Le gallium (Ga) - éléments de criticité*, Fiche de synthèse du BRGM, août 2016.)

<sup>45</sup> Les terres rares sont un groupe de 17 éléments chimiques (15 lanthanides, plus le scandium et l'yttrium) aux propriétés chimiques particulières, essentiels dans la fabrication de certaines technologies électroniques (notamment les smartphones).

<sup>46</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

### Annexe III

Plusieurs dizaines d'intrants chimiques sont également nécessaires pour produire des composants électroniques à partir des matières premières minérales. Certains sont consommés au sein des fonderies (*front end*, marché estimé à 40 Md\$ en 2024), d'autres lors de la phase d'assemblage et de packaging (*back end*, marché estimé à 24 Md\$ en 2024<sup>47</sup>). Les principaux intrants consommés au sein des fonderies (*front end*) sont les suivants :

- ♦ **des plaquettes de silicium de qualité électronique** (marché de l'ordre de 14 Md\$) : le minerai de silicium, abondamment présent, nécessite d'être purifié et cristallisé afin de former des lingots de silicium polycristallin. Ces lingots sont ensuite découpés, retraités, aplanis pour former des *wafers* (ou plaquette) sur lesquels seront gravés les composants électroniques au sein de fonderies. **Les principaux fabricants de plaquettes se situent en Asie et notamment au Japon**, mais d'importants investissements sont projetés aux États-Unis pour rapatrier une partie de la production : les entreprises Hemlock Semiconductor et Entegris ont respectivement annoncé des investissements de 370 M\$ et de 600 M\$ pour agrandir leurs usines et Global Wafers a annoncé la construction d'une nouvelle ligne au Texas<sup>48</sup> ;
- ♦ les plaquettes sont ensuite recouvertes par des résines photosensibles afin de les préparer au processus de lithographie. A chaque étape de fabrication, un masque est superposé pour bloquer une partie des rayons ultraviolet. Ainsi, le motif souhaité est imprimé sur la résine photosensible. **Résines et masques sont des spécialités japonaises, pays qui dispose d'un quasi-monopole dans le domaine**<sup>49</sup> ;
- ♦ les surfaces laissées à découvert par la phase de lithographie sont ensuite nettoyées et le cas échéant dopées. Les intrants chimiques nécessaires à cette opération (solvants, acides, décapants) sont pour la plupart produits aux États-Unis, à l'exception de certains gaz qui constituent plutôt une spécialité européenne. **Ainsi, la branche électronique de l'entreprise Air Liquide conçoit et fournit des solutions technologiques basées sur des gaz de très haute pureté** et des matériaux avancés destinées à l'industrie des semi-conducteurs. Ils sont utilisés soit pour protéger les plaquettes des impuretés atmosphériques, soit en tant que partie intégrante du processus de fabrication. En 2023, le chiffre d'affaires de la branche électronique du groupe Air Liquide s'élève à 2,5 Md€<sup>50</sup>. Parmi les gaz utilisés, les composants fluorés (SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub> et CF<sub>4</sub> notamment) contribuent majoritairement aux émissions de gaz à effet de serre de la filière, avec un pouvoir estimé à 100 à 300 kg de CO<sub>2eq</sub> par plaquette, en fonction de la technologie de gravure<sup>51</sup>.

Tableau 2 : Position des pays sur le marché des intrants

	États-Unis	Europe	Japon	Corée	Chine	Taiwan
<b>Fonderie</b>						
Plaquettes de silicium	*	*/**	***	**	**	**
Résines et masques	*	*	***	*	*	*
Intrants gazeux	**	***	**	**	**	*
Intrants liquides	***	*	**	*	**	*
<b>Assemblage et packaging</b>						
Substrats, fils, résine, céramiques	*	**	***	*	**	**

*Source* : Mission, sur la base des rapports « Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era » et « Emerging resilience in the semiconductor supply chain » du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021 et mai 2024.

*Note de lecture* : La position des pays est évaluée sur une échelle allant d'une à trois étoiles, variant entre production nulle ou résiduelle (\*), producteur secondaire (\*\*), producteur de premier plan/monopole (\*\*\*)

Lors de la phase d'assemblage (*back end*), les intrants les plus utilisés sont : des substrats (qui représentent environ la moitié du volume de vente<sup>52</sup>), des cadres de plomb, des fils connecteurs, des résines, des produits céramiques ou encore des adhésifs de fixation. Il s'agit de produits moins avancés sur le plan technologique que les intrants utiles lors de la phase *front end*<sup>53</sup>. Ils n'en restent pas moins critiques dans la chaîne de production. **Le Japon en est le principal pays producteur**<sup>54</sup>, notamment sur le marché des poudres de céramique pour les MLCC, des feuillets de diélectriques pour les PCB, ou encore des électrolytes pour les condensateurs électroniques.<sup>55</sup>

#### 2.2.2. Le savoir-faire en termes de machines-outils constitue le principal atout stratégique de l'Europe

La photolithographie est une technique de fabrication qui permet de transférer sur un substrat une image de circuit. Une fine couche de résine photosensible (qui réagit à la lumière) est déposée sur le substrat. Elle est ensuite exposée à une source lumineuse (rayonnement ultra-violet pour les gravures les plus fines) à travers un masque optique présentant des zones opaques et transparentes et reproduisant les motifs planaires du circuit. Les motifs sont ensuite révélés dans une solution chimique, ce qui aboutit à une reproduction des motifs du masque en négatif ou en positif selon le type de résine utilisé.

La lithographie optique est la technique la plus utilisée pour la fabrication de masse de l'industrie électronique. Cette technique présente toutefois des limites, essentiellement liées à son pouvoir de résolution limité par le phénomène de diffraction de la lumière. Ainsi, ce procédé ne peut produire des motifs très inférieurs à 100 nm. La photolithographie conventionnelle est de plus en plus délaissée au profit de technologies de nouvelle génération :

- ◆ la **lithographie extrême UV (EUV)** utilise une source lumineuse de longueur de 13,5 nm, et permet ainsi d'atteindre des gravures inférieures à 10 nm, elle impose cependant de nouvelles sources optiques et de nouveaux matériaux. L'entreprise hollandaise ASML est en situation de monopole sur le segment des machines-outils de technologie EUV, une seule machine pouvant coûter 250 M\$<sup>56</sup> ;
- ◆ la lithographie électronique par faisceau d'électrons en projection (technique lente, à rendement faible, mais qui permet d'atteindre de très hautes résolutions égales au diamètre du faisceau électronique) ;
- ◆ la lithographie par nano impression est une alternative prometteuse à la photolithographie, grâce à son pouvoir de très grande résolution et de production en masse à faible coût.

#### Encadré 3 : l'entreprise ASML

L'entreprise ASML (firme hollandaise fondée en 1984) est spécialisée dans la production de machines-outils de photolithographie extrême ultraviolette (EUV), segment sur lequel elle se trouve en situation de monopole. Les machines d'ASML permettent d'atteindre des niveaux de gravure compatibles avec les technologies de puce les plus avancées (<10 nm). De ce fait, l'entreprise ASML constitue le principal verrou technologique européen dans la chaîne de valeur des semi-conducteurs.

<sup>52</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

<sup>53</sup> *Ibid*

<sup>54</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>55</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>56</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.

Les clients de l'entreprise sont en nombre restreint, parmi lesquels on compte Intel, Samsung Electronics et TSMC. En 2023, ASML emploie 40 000 salariés et affiche un chiffre d'affaires de 27 milliards d'euros et un résultat net de 7,8 milliards d'euros.

*Source : Mission sur la préparation d'un plan d'actions visant à renforcer la résilience de l'industrie française face aux vulnérabilités de l'approvisionnement en composants électroniques, Rapport du Conseil général de l'économie, août 2023 ; « Emerging resilience in the semiconductor supply chain », rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024 ; [Boursorama](#) et [Stockanalysis](#), consultés le 22 octobre 2024 ;*

Au-delà de sa valeur intrinsèque (chiffre d'affaires de l'ordre de 17 Md\$ en 2024<sup>57</sup>), le segment des machines de photolithographie possède un caractère stratégique car il constitue **un goulot d'étranglement dans la chaîne de valeur, avec une entreprise en situation de monopole sur la lithographie UV extrême (ASML)**. Sous l'effet des pressions américaines (*cf.* encadré 2) et afin de limiter les progrès technologiques chinois sur les processeurs logiques les plus avancés, des contrôles stricts à l'export ont été mis en œuvre dans le cadre de l'accord de Wassenaar<sup>58</sup>. Cet accord semble à même de freiner le rattrapage technologique chinois, mais pas de le stopper dans la mesure où des technologies alternatives domestiques seraient en cours de développement. L'entreprise chinoise SMEE, principal constructeur chinois de machines de photolithographie, aurait ainsi déposé des brevets concernant des machines EUV de finesse 7 nm.<sup>59</sup>

En complément des machines de lithographie EUV, les chaînes de production de composants électroniques comprennent de nombreuses machines-outils permettant de réaliser les tâches suivantes : déposer et retirer des couches de matière sous forme solide, liquide ou gazeuse ; déposer et retirer les masques photorésistants ; découper les wafers et assembler les puces ; vérifier la qualité des puces produites. Les machines permettant de réaliser l'ensemble de ces étapes sont principalement produites par trois entreprises : *Applied Materials* et *Lam Research* aux États-Unis, *Tokyo Electron Laboratories* au Japon<sup>60</sup>.

### 2.3. La conception des puces constitue un segment à forte valeur ajoutée dominé par des entreprises américaines « *fabless* » et s'appuie sur des logiciels dédiés qui sont partie intégrante de la chaîne de valeur

#### 2.3.1. Le marché des logiciels de conception est dominé par les États-Unis

Les entreprises spécialisées dans la conception de l'architecture des circuits intégrés s'appuient sur des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO). Ces logiciels permettent d'effectuer tout ou partie des tâches suivantes :

- ◆ conception : conception de l'architecture des composants au sein d'une puce pour répondre à un besoin fonctionnel ;
- ◆ simulation : simulation du comportement d'un composant/d'une puce ;
- ◆ vérification : prouver par modélisation que l'architecture proposée offre certaines propriétés désirées ; vérifier la compatibilité avec certaines règles de codage ;
- ◆ préparation : génération du « masque » destiné à la production industrielle par photolithographie.

<sup>57</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024.

<sup>58</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.

<sup>59</sup> *Brève du numérique en Chine*, Note du service nucléaire de l'ambassade de France en Chine, 30 septembre 2024.

<sup>60</sup> J. VerWey, (juillet 2019) : « The health and competitiveness of the U.S. semiconductor manufacturing equipment industry », *Office of industries, working paper ID-058*.

Avec la diminution de la taille des composants et l'augmentation du nombre de composants électronique par puce, **ces logiciels sont devenus des outils essentiels pour construire des architectures de puce efficaces**. Dans les années 1980, les premiers outils de CAO étaient développés en interne par les entreprises de microélectronique (HP, Intel). Aujourd'hui, ces logiciels sont conçus et commercialisés par des entreprises spécialisées, qui tendent à se regrouper par fusion/acquisition. Parmi les principales entreprises, nous pouvons citer :

- ◆ Synopsys (USA) ;
- ◆ Cadence Design Systems (USA) ;
- ◆ Ansys (USA) ;
- ◆ Siemens EDA (anciennement Mentor Graphics, racheté par l'entreprise allemande Siemens en 2017).

Ces quatre entreprises contrôlaient environ 90 % du marché des logiciels de conception<sup>61</sup>, permettant d'assurer une suprématie américaine sur ce segment.

#### **2.3.2. La conception des processeurs destinés aux smartphones et ordinateurs est une spécialité d'entreprises américaines qui se sont progressivement détachées de la fabrication physique**

**Le modèle *fabless* consiste à concevoir l'architecture d'une puce électronique (conception ou *design*), et de rémunérer une tierce entreprise (fonderie) disposant d'une ligne de fabrication pour la produire.** Ce modèle s'est développé au milieu des années 1980, sous l'effet de l'augmentation des coûts de capitaux nécessaires pour lancer de nouvelles usines<sup>62</sup>. Ce mécanisme permet d'éliminer les coûts fixes associés à la fabrication de la ligne de production, qui n'ont cessé d'augmenter avec la miniaturisation des puces<sup>63</sup>, et de les transformer en coûts variables.

Actuellement, très peu d'entreprises sont capables de fournir le niveau d'investissement nécessaire pour fonder des puces au niveau le plus avancé, et de faire tourner les lignes de production à un niveau suffisant pour les rentabiliser. À l'exception de Samsung et d'Intel (firmes qui sous traitent néanmoins une partie de leur production), il n'existe aujourd'hui plus d'acteur traditionnel (IDM) maîtrisant l'ensemble de la chaîne. Le modèle *fabless* est devenu la norme pour les puces les plus avancées<sup>64</sup>.

---

<sup>61</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.

<sup>62</sup> Chips and technologies, entreprise fondée en 1984 par Gordon Campbell, est la première à l'avoir expérimenté le modèle *fabless* en 1984, suivie par l'entreprise Xilinx. Quelques années plus tard, en 1987, l'entreprise TSMC est devenue la première entreprise spécialisée dans le domaine de la fonderie, en visant spécifiquement le marché des entreprises *fabless* en train d'émerger

<sup>63</sup> Les dernières fonderies de l'entreprise TSMC représentent ainsi un investissement de l'ordre de 20 Md\$.

<sup>64</sup> D. Nenni, P. McLellan, *Fabless : the transformation of the semiconductor industry*, B. Martin and A. Ketchum editors, 2019.

### Encadré 4 : l'entreprise Nvidia

Nvidia Corporation est une société américaine de technologie, dominante sur le marché des cartes graphiques (GPU) avec des parts de marché comprises entre 80 et 90 %. Il s'agit d'un éditeur de logiciels et d'une entreprise sans usine (*fabless*) qui conçoit des processeurs graphiques, des interfaces de programmation d'applications (API) pour la science des données et le calcul intensif, ainsi que des systèmes sur une puce (SoC) pour les marchés de l'informatique mobile et de l'automobile. Elle conçoit ses puces dans ses centres de recherches, mais sous-traite leur production à d'autres sociétés de semi-conducteurs, notamment le taiwanais TSMC. En 2023, son chiffre d'affaires s'élevait à 56 Md€ et son résultat net à 27 Md€, pour 29 000 employés.

Source : [Boursorama](#) et [Stockanalysis](#), consultés le 22 octobre 2024.

**Le segment de la conception représente actuellement près de 60 % de la chaîne de valeur de l'industrie des semi-conducteurs, dont la moitié sur les composants logiques.** Les américains sont leaders sur le marché de la conception de ces composants, avec plus de 65 % de parts de marchés et six entreprises<sup>65</sup> dans le TOP10 mondial (Intel, AMD, Nvidia, Xilinx, Apple, Qualcomm)<sup>66</sup>. L'entreprise Nvidia détient notamment un quasi-monopole sur le segment des processeurs graphiques, dont l'architecture de calcul parallèle est bien adaptée à l'entraînement des modèles modernes d'intelligence artificielle. Le marché de la conception des mémoires est quant à lui dominé par les coréens, qui détiennent 60 % de parts de marchés. La conception de composants analogiques est quant à lui plus éclatée entre acteurs américains, européens et asiatiques<sup>67</sup>.

**Les technologies gagnant en maturité, le marché de la conception est devenu de plus en plus difficile à pénétrer, avec des processus de consolidation en cours<sup>68</sup>.** Il est donc difficile pour les nouveaux acteurs (et notamment européens) de se positionner sur des composants sur des composants matures tels que les CPU ou les GPU. Il existe en revanche des opportunités dans le domaine des puces spécialisés (par exemple destinés à des usages bien précis liés à l'Intelligence artificielle) qui sont plus intensive en R&D et moins en capital. Plus de 3 000 entreprises spécialisées dans la conception coexistent actuellement en Chine, grâce au soutien du fonds dédié *National IC funds*. Moins performantes sur le segment des processeurs historiques (CPU, GPU et FPGA), elles se sont pour le moment spécialisées sur certains segments plus accessibles (systèmes de contrôle industriel, IoT) mais entament leur consolidation<sup>69</sup>.

### Encadré 5 : l'entreprise ARM

ARM est une entreprise britannique, cotée à la Bourse de New York, spécialisée dans la conception d'architectures de microprocesseurs. Ces architectures sont fournies sous licence à d'autres entreprises pour fabriquer des puces adaptées à leurs usages. Elle compte 6 000 employés, pour un chiffre d'affaires 2023 de 2,9 Md\$. En février 2022, Nvidia, sous la pression des autorités de régulation (autorité de la concurrence européenne, chinoise, *federal trade commission américaine*), a renoncé à racheter ARM pour 40 Md\$.

<sup>65</sup> Xilinx a depuis été racheté par AMD.

<sup>66</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>67</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024, figure 2.

<sup>68</sup> Offre échouée de rachat d'ARM par l'américain Nvidia, acquisition de Xilinx par AMD.

<sup>69</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024.

L'architecture ARM, basée sur la technologie RISC (Reduced Instruction Set Computing), est reconnue pour sa faible consommation d'énergie et ses bonnes performances. Ces processeurs sont utilisés dans une large gamme d'appareils, notamment les smartphones, tablettes, objets connectés, ainsi que dans des domaines comme l'automobile ou les serveurs informatiques. Malgré un chiffre d'affaires relativement modeste comparé aux poids lourds du secteur, l'entreprise possède un positionnement stratégique sur la chaîne de valeur. En effet, les architectures développées par ARM sont présentes dans la moitié des puces électroniques et dans 99 % des smartphones.

*Source* : « ARM, clef de voute de l'électronique mondiale, entre en bourse », [Le Monde](#), 14 septembre 2023 ; [données financières](#) de l'entreprise, site d'[ARM](#) ; « Puces électroniques : l'acquisition du britannique ARM par l'américain Nvidia bloquée par les régulateurs », [Le Monde](#), 9 février 2022.

Dans ce cadre, le rapport Draghi appelle à une coopération européenne renforcée visant réimplanter des compétences et des moyens de production localement. Considérant les fonderies à l'état de l'art hors de portée en termes de capital et de technologie, il appelle à développer des entreprises *fabless*, à même de posséder des compétences stratégiques dans le domaine de la conception de puces, tout en préservant notre capacité de production de puces matures. Cette stratégie, proche du modèle américain des années 2000-2020, s'appuie sur les forces européennes (potentiel de R&D) et vise le segment le plus créateur de valeur.

## 2.4. La production industrielle de composants électroniques repose sur la technique de la photolithographie, maîtrisée à l'état de l'art par deux entreprises asiatiques et une entreprise américaine

### 2.4.1. La miniaturisation des composants dans le cadre de la loi de Moore semble approcher de son terme

Dans les années 1960, Robert Moore, cofondateur d'Intel, a énoncé la loi éponyme qui prédit le doublement du nombre de transistors (et donc de la puissance de calcul) présents sur une puce de microprocesseur tous les deux ans. Remarquablement vérifiée depuis lors, sa réalisation a été rendue possible par la **miniaturisation continue des transistors** (taille de l'ordre de 3 nm actuellement pour les transistors produits par l'entreprise TSMC). Entre 1970 et 2020, le nombre de transistor sur une puce a ainsi été multiplié par 50 000 000. La loi de Moore approche actuellement de sa limite, pour deux raisons :

- ♦ **une limite physique**, avec des transistors dont la taille est de l'ordre de quelques atomes (impossibilité de descendre sous la taille de l'atome). L'entreprise TSMC travaille actuellement sur des technologies à 1,8nm, soit l'équivalent de 18 atomes d'hydrogènes placés côté à côté ;
- ♦ **une limite économique**, la loi de Rock (également empirique) stipulant que le coût de fabrication d'une fonderie de puce double tous les quatre ans. La dernière fonderie du groupe TSMC représente ainsi un investissement de l'ordre de 20 Md\$.

Si la loi de Moore doit plafonner dans les prochaines années (fin de la course à la miniaturisation ou au « *More Moore* »), d'autres facteurs devraient permettre de soutenir la croissance du marché.

- ♦ optimisation des méthodes de calcul, et notamment recours au calcul parallèle sur des processeurs adaptés (multicœurs, GPU ou processeurs spécialisés de type TPU) ;
- ♦ développement de **technologies dites « More than Moore » qui s'inscrivent dans une optique de diversification** et adresse donc des marchés très variés<sup>70 71</sup> :

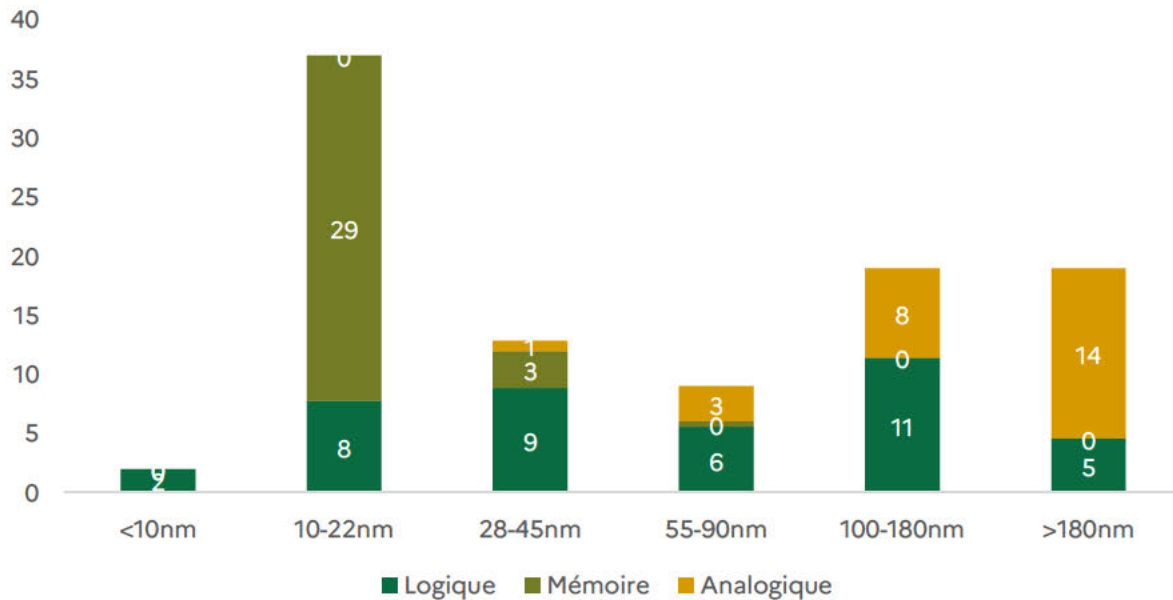
<sup>70</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>71</sup> *Panorama de la filière électronique mondiale*, Rapport de la DGE, août 2018.

### Annexe III

- innovations dans les substrats et matériaux utilisés offrant des rendements supérieurs aux technologies actuelles à finesse de gravure équivalente. Par exemple, la technologie FD-SOI<sup>72</sup> (développée notamment par le CEA LETI et l'entreprise STMicroelectronics) apparaît progressivement comme une technologie complémentaire du FinFET : moins puissant, il est également moins consommateur en énergie. Cette technologie répond à des besoins différents, et pourrait trouver des applications dans les appareils embarqués, appareils sans fils ou objets connectés mobiles, avec un coût moindre et une autonomie rallongée ;
- intégration au sein des composants électroniques de nouvelles fonctionnalités que l'on peut classer en trois grandes familles d'application : composants actifs de puissance ; capteurs et actionneurs (dont MEMS et imageurs) ; analogique et mix-Signal (dont l'ensemble des composants radiofréquence pour (les télécommunications) ;
- développement de systèmes dédiés et intégrés au produit final, spécifiquement conçus pour répondre aux besoins de marchés identifiés (la 5G, les antennes, le sans-fil, la reconnaissance vocale, la réalité augmentée et virtuelle, l'automobile Intelligente notamment) ;

Graphique 6 : production de composants en 2019 (en % du volume total) par génération



*Source : Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.*

Les technologies *More Moore* et les technologies *More than Moore* ne devraient néanmoins pas entrer en concurrence, dans la mesure où elles s'intéressent à des composants finaux distincts. Ainsi, les technologies *More Moore* visent essentiellement les puces logiques destinées au marché des smartphones et des ordinateurs, et celui des mémoires. Les technologies *More than Moore* sont plutôt destinées aux puces logiques pour lesquelles l'élément limitant n'est pas la capacité de calcul (mais par exemple la consommation énergétique dans le cadre des systèmes embarqués), et les composants analogiques.

<sup>72</sup> FD-SOI Next Generation 10-7 nm, [CEA](#), consulté le 18 décembre 2024.

### 2.4.2. Trois entreprises sont actuellement capables de produire des puces au niveau de gravure le plus fin : TSMC, Samsung et Intel

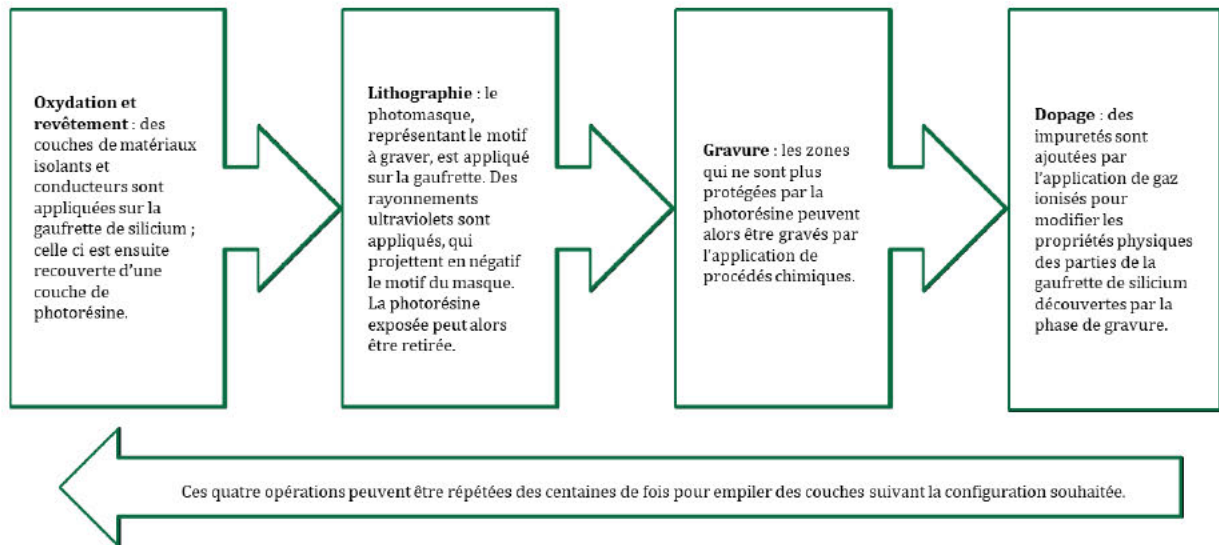
Le marché de la fonderie s’est progressivement consolidé, passant de 25 entreprises capables de produire des puces sur les générations à 130 nm à deux ou trois entreprises sur celles à 3 nm<sup>73</sup>. Le niveau d’investissement pour passer d’une technologie à la suivante étant inversement proportionnel à la finesse de gravure, les entreprises de taille intermédiaires se sont progressivement retirées de ce secteur hautement capitalistique (la dernière usine de TSMC représente un investissement estimé à 20 Md). Aujourd’hui, **seules trois entreprises restent capables de fondre des composants au niveau de gravure le plus fin (3 nm) : TSMC, Samsung et Intel**. L’entreprise américaine Intel a néanmoins acquis le savoir-faire technologie pour graver à 3 nm avec un temps de retard sur ses concurrents, ce qui laisse planer le doute quant à sa capacité à rester dans la course à la miniaturisation<sup>74</sup>. En 2022, le marché des puces logiques avancées était ainsi partagé entre TSMC (69 %) et Samsung (31 %)<sup>75</sup>.

#### Encadré 6 : l’entreprise TSMC

L’entreprise Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) est, en 2021, la plus importante fonderie de semi-conducteurs indépendante. Elle ne crée pas ses propres puces et se positionne comme un partenaire des sociétés de semi-conducteurs plutôt qu’un concurrent. Leader technologique avec la taille de gravure la plus fine disponible sur le marché (3 nm), elle domine le marché de la fonderie de haute performance. En 2023, elle présente un chiffre d’affaires de 69 Md\$ et plus de 65 000 salariés. Parmi ses plus gros clients, nous pouvons citer les entreprises Apple (exclusivité sur la production des processeurs iPhone, iMac et iPad), Nvidia, Sony et STMicroelectronics.

Source : données financières [TSMC](#).

Graphique 7 : Processus de fabrication d’un composant semi-conducteur



Source : Mission, d’après : *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

<sup>73</sup> La microélectronique, Présentation DGE, septembre 2023.

<sup>74</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China’s drive for semiconductors », Institut Montaigne.

<sup>75</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024.

### Annexe III

Dans un contexte de tensions géopolitiques entre la Chine et les États-Unis, et suite aux ruptures d'approvisionnements liées à la crise COVID, la dépendance envers ce duopole constitue un risque jugé critique par certains acteurs. Plusieurs pays ont mis en place des stratégies pour réduire partiellement ou totalement leur degré de dépendance en rapatriant des capacités de production domestiques, ce qui devrait avoir pour effet d'augmenter à moyen terme l'offre mondiale en semi-conducteurs (cf. Annexe V) :

- ◆ les États-Unis, très présents sur l'amont (conception ou *design*) et l'aval (smartphones, ordinateurs, IA) de la chaîne sont particulièrement vulnérables en cas de rupture d'approvisionnement. En 2020, les smartphones d'Apple nécessitaient déjà des puces au niveau 7 nm<sup>76</sup> pour faire fonctionner correctement les applications software embarquées. Actuellement, ils intègrent des puces à un niveau de gravure de 3 nm. Dans un contexte géopolitique très tendu avec la Chine, une rupture d'approvisionnement partielle ou totale sur Taiwan aurait des conséquences économiques très importantes.
- ◆ en réponse aux mesures américaines, la Chine augmente ses capacités de production de puces matures et tente de rattraper son retard sur le segment des puces avancées. Elle développe ainsi ses propres machines de photolithographie EUV pour contourner le blocus américain sur les machines ASML et soutient massivement les entreprises domestiques de conception<sup>77</sup>.
- ◆ Corée et Taiwan : ces deux pays continuent d'investir massivement pour conserver une avance technologique et une position dominante sur ce marché stratégique. En Corée du Sud, le gouvernement a ainsi annoncé un plan pour construire 16 nouvelles usines au sein d'un cluster géant dans la province de Gyeonggi, réunissant les deux acteurs majeurs que sont Samsung et SK Hynix sur un même site<sup>78</sup>.
- ◆ dans le cadre du projet Rapidus, le Japon souhaite rattraper son retard à horizon 2027. L'objectif annoncé vise à créer un nouveau site de production sur l'île d'Hokkaido afin de produire des puces à l'état de l'art (2 nm)<sup>79</sup>.

---

<sup>76</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.

<sup>77</sup> *Ibid*

<sup>78</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024.

<sup>79</sup> *Ibid*.

**L'Europe a quant à elle abandonné la course au More Moore au début des années 2010 (passage de la génération 28 nm à 22 nm<sup>80</sup>) faute de marché aval et incapable de fournir l'effort capitalistique pour passer au prochain échelon technologique<sup>81</sup>.** Dans le cadre du *chips act* européen, de nouveaux sites industriels devraient permettre d'augmenter le volume de composants produits sur le continent, mais sur des technologies matures, en phase avec les besoins des industries domestiques (automobile, aéronautique). Sur le segment des puces matures, les parts de marchés européennes sont restées importantes (17 % sur les composants logiques intermédiaires, 4 % sur les composants plus anciens qui sont plutôt produits en Chine<sup>82</sup>). Seul le projet d'Intel sur le site de Magdebourg, subventionné à hauteur de 10 Md€ par le gouvernement allemand (soit un tiers de l'investissement total), avait pour objet d'attaquer le segment des puces de haute technologie. Le projet est finalement reporté *sine die* du fait des difficultés financières de l'entreprise américaine. Les autres projets européens phares (projet STMicroelectronics-GlobalFoundries sur le site de Crolles, TSMC sur le site de Dresde ou Intel en Pologne) ont respectivement pour objet de produire des puces de maturité intermédiaire (Crolles, Dresde) ou de proposer des solutions de packaging (Pologne)<sup>83</sup>.

Les entreprises européennes défendent ainsi une **stratégie de diversification dite de « More than Moore »**, visant à **attaquer certains marchés alternatifs** (et parfois en croissance forte, comme celui de l'automobile électrique et autonome) pour lesquels le facteur clef n'est pas nécessairement la puissance de calcul (exemple de la technologie FD-SOI de STMicroelectronics qui se caractérise, à largeur de grille équivalente, par une plus faible consommation énergétique adaptée aux applications embarquées). Cette stratégie ne permettra pas de concurrencer les poids lourds du secteur sur les segments nécessitant des puces au plus haut niveau technologique (smartphone, ordinateurs), mais de créer des niches de compétence et de limiter les risques d'approvisionnement pour certains industries aval stratégiques.

---

<sup>80</sup> *La microélectronique*, Présentation DGE, septembre 2023.

<sup>81</sup> *Enjeux et perspectives pour la filière française de la fabrication électronique*, Rapport du Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques, avril 2019.

<sup>82</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024.

<sup>83</sup> *Ibid*

### 2.4.3. Les compétences sur le marché des mémoires sont exclusivement concentrées en Asie

Il existe deux grandes technologies de mémoires, les mémoires volatiles et les mémoires non volatiles :

- ◆ Les **mémoires volatiles** (ou **non rémanente, temporaire ou à court terme**) est une mémoire informatique qui a besoin d'alimentation électrique continue pour conserver l'information qui y est enregistrée. Lorsque l'alimentation électrique est interrompue, l'information contenue dans la mémoire volatile est, quasi immédiatement, perdue. Elles sont en général utilisées comme mémoire vive pour traiter les opérations en cours sur un processeurs. L'une des technologies les plus communes de mémoire volatile est la technologie DRAM (pour *dynamic random access memory*), mais il en existe d'autres ;
- ◆ Les **mémoires non volatiles** qui conservent ses données en l'absence d'alimentation électrique. Il peut s'agir de mémoires à base de papier, par exemple les rubans perforés et les cartes perforées ; les mémoires à base de semi-conducteurs, par exemple les mémoires mortes (ROM) et les mémoires RAM non volatiles (NVRAM) ; des mémoires utilisant un support magnétique, par exemple les bandes magnétiques, les disquettes (*floppy disks*) et les disques durs (*hard disks*) ; ou encore de mémoires utilisant une surface réfléchissante lue par un laser, par exemple les CD et les DVD. **Les mémoires flash NAND sont les principales technologies de mémoires fonctionnant sur semi-conducteurs.** Inventé et commercialisé par Toshiba en 1989, cette mémoire est plus rapide à l'effacement et à l'écriture que sa concurrente NOR, et offre une plus grande densité et un coût moins important par bit.

En 2022, ces deux technologies restent essentiellement produites en Asie. La Corée du Sud, via ses deux entreprises phares Samsung et SK Hynix, détient plus de la moitié des parts de marché sur le segment des mémoires DRAM. Le marché s'est concentré récemment avec le rachat de la branche mémoire d'Intel par SK Hynix<sup>84</sup>. Cette domination coréenne pourrait encore s'affirmer d'ici 2030 avec des parts de marché projetées à près de 60 %. L'entreprise chinoise CXMT est néanmoins en train de monter en puissance sur ce segment (+66 % de volume de production en un an), et pourrait venir perturber la domination coréenne sur le segment des mémoires DRAM<sup>85</sup>. Les parts restantes sont actuellement partagées entre Taiwan et la Chine, ce qui crée une situation de dépendance géographique complète sur ce segment. Concernant le marché des mémoires non volatiles, les parts sont distribués entre le Japon, la Corée et la Chine qui représentent à eux trois 85 % du marché. Les acteurs européens sont absents, qu'il s'agisse du marché des mémoires volatiles ou non volatiles.<sup>86</sup>

---

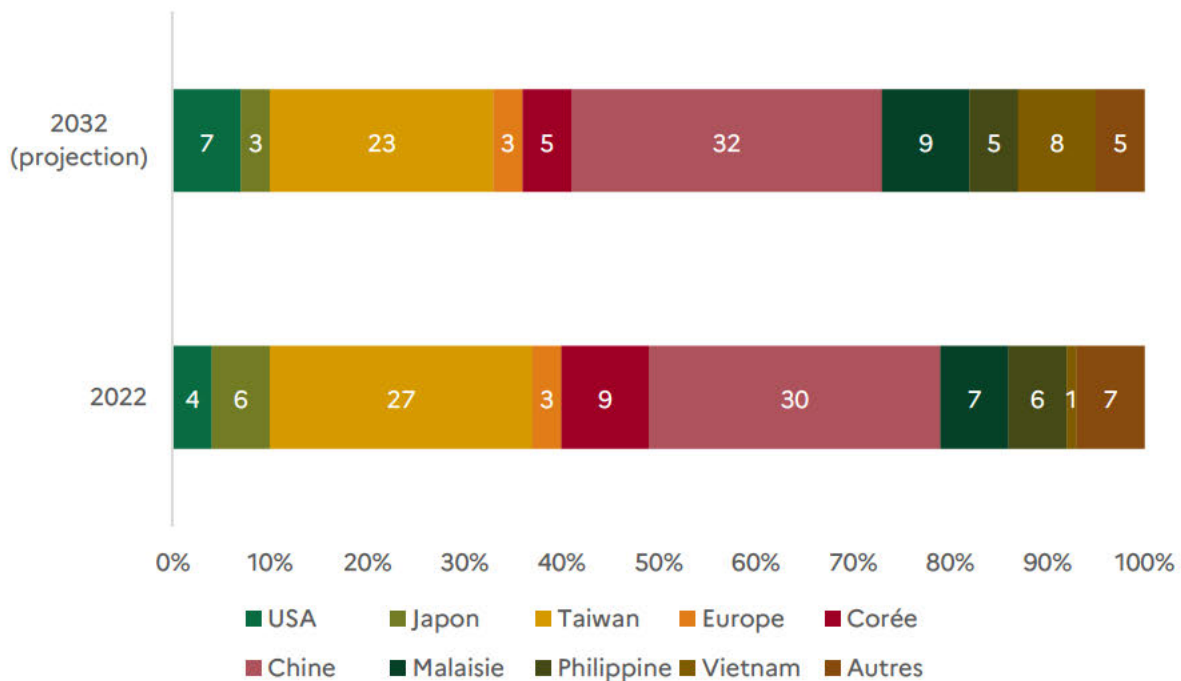
<sup>84</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>86</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024, figure 6.

## 2.5. L'assemblage et l'intégration, une étape à moindre valeur ajoutée

Le segment le plus en aval de la chaîne de production (assemblage, test et conditionnement ou ATP) est **généralement considéré comme le moins intensif en technologies de pointe, et comme présentant le moins de valeur ajoutée**. Ces caractéristiques ont justifié une délocalisation précoce de ce segment en Asie, dès les années 1960<sup>87</sup>. Environ 60 % du marché est actuellement contrôlé par la Chine (entreprises JCET Group, Tongfu Microelectronics, Tianshui Huatian Technology) et par Taiwan (entreprises ASE, SPIL, Powertech). Des pays émergents sont également présents de manière non négligeable sur ce marché (à hauteur de 20 % du total), en particulier la Malaisie, les Philippines et le Vietnam. L'Europe et les États-Unis restent présents à la marge, respectivement à hauteur de 3 % et 4 %<sup>88</sup>.

Graphique 8 : acteurs présents sur le segment de l'assemblage, du test et de l'intégration



Source : « *Emerging resilience in the semiconductor supply chain* », rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024, figure 13.

Ces deux caractéristiques, faible valeur ajoutée et faible intensité technologique, méritent toutefois d'être nuancées. Le périmètre du segment de l'ATP est en effet difficile à définir. Il présente une certaine porosité avec les industries plus aval dites EMS (*electronic manufacturing service*, cf. graphique 5), qui produisent des systèmes et sous-ensembles électroniques correspondant aux besoins des utilisateurs finaux et intègrent parfois verticalement certains savoir-faire du marché ATP. En fonction du périmètre retenu, le marché de l'ATP peut ainsi être évalué à 30 Md\$<sup>89</sup> ou 95 Md\$<sup>90</sup>. À titre de comparaison, le marché total de l'EMS est estimé à plus de 400 Md€<sup>91</sup>.

<sup>87</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.

<sup>88</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>89</sup> M. Duchatel, (janvier 2021). « The weak links in China's drive for semiconductors », *Institut Montaigne*.

<sup>90</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>91</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

### Annexe III

Concernant l'intensité technologique, le segment de l'ATP reste certes moins avancé que les autres segments de la chaîne de valeur, à savoir la fonderie et le *design*. Des savoir-faire spécifiques ont néanmoins été développés, permettant d'intégrer toujours plus de composants au sein d'une même puce.<sup>92</sup> De fait, **les investissements dans les usines de dernière génération sont très importants**, bien que moindres que ceux nécessaires dans le cas d'une fonderie. A titre d'exemple, l'entreprise américaine AMKOR a investi 1,6 Md\$ pour construire une usine d'assemblage de dernière génération au Vietnam<sup>93</sup>.

Si les entreprises françaises semblent peu présentes sur le segment de l'ATP, il demeure en revanche un tissu industriel actif sur celui de l'EMS. L'écosystème industriel s'est concentré sur des productions de faibles et moyens volumes majoritairement pour les marchés professionnels domestiques spécialisés : automobile<sup>94</sup>, aéronautique, défense notamment. Quatre entreprises nationales demeurent dans le TOP50 mondial : Asteelflash (racheté par le taïwanais ASE), Eolane, Lacroix Electronics, All Circuits (à capitaux chinois).<sup>95</sup> Avec un chiffre d'affaires cumulé d'environ 1Md€, elles sont très loin de l'entreprise taiwanaise Foxcon, leader mondial. Elles contribuent néanmoins à préserver des compétences en électronique qui ont été externalisées par la plupart des donneurs d'ordre français, et continuent d'employer environ 16 500 personnes sur le territoire.<sup>96</sup>

La France dispose également d'une entreprise d'envergure internationale sur le segment spécifique des cartes à puce, Thales DIS (ex Gemalto) qui domine la production de cartes SIM et présente un chiffre d'affaires de 945 M€ en 2023. Elle a également conservé certaines compétences sur le segment des circuits imprimés, fabriqués à 90 % en Asie.<sup>97</sup> Le leader en France est le groupe Elvia PCB qui compte 450 salariés pour un chiffre d'affaires total de 58 M€ en 2023<sup>98</sup>. Les principaux débouchés sont les secteurs de l'aéronautique et de la défense.

---

<sup>92</sup> *Semiconductor manufacturing outlook*, Présentation TechInsights, avril 2024.

<sup>93</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du BCG et de la *Semiconductor industry association*, mai 2024.

<sup>94</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>95</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>96</sup> *Ibid*

<sup>97</sup> *La filière électronique en France : l'ère du renouveau*, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>98</sup> Elvia PCB devient Elvia electronics, [Elvia](#), consulté le 24 octobre 2024

### 3. Dans le cadre du plan Nano 2022, la France a financé le développement de technologies spécifiques considérées comme stratégiques

#### 3.1. Les besoins du tissu industriel européen aval sont ciblés par le plan Nano

**Le plan Nano 2022 ne visait pas à rattraper le retard technologique sur les puces les plus avancées<sup>99</sup>, mais à adresser les besoins des industries aval domestiques tout en renforçant les lignes de forces des industries électroniques françaises.** Le plan Nano 2022, dans le cadre du premier PIIEC, a ainsi ciblé les quatre champs thématiques suivants, le champ des composants numériques basse consommation étant prépondérant<sup>100</sup> :

- ◆ composants numériques basse consommation, et notamment le développement de la technologie FD-SOI (*fully depleted silicium on isolant*), des mémoires non volatiles embarquées et des composants radio fréquences RFSOI. Les technologies SOI utilisent des types de wafers particuliers qui permettent d'améliorer la performance tout en réduisant la consommation d'énergie (*cf.* 3.3). La finesse de gravure reste néanmoins un élément déterminant de la performance finale. Cette technologie est donc particulièrement adaptée pour les applications qui recherchent les caractéristiques suivantes : faible consommation d'énergie, bonne performance sous basse tension et puissance de calcul ne nécessitant pas des finesses de gravure à l'état de l'art. C'est notamment le cas de la **plupart des objets connectés, de certaines applications embarquées** ou encore de certains systèmes de traitement du signal radiofréquences utiles aux technologies 5G ;
- ◆ capteurs, notamment le développement de nouveaux capteurs optiques, de mouvement ou de champ magnétique avec des performances améliorées et une précision accrue. Ces capteurs peuvent être adaptés à plusieurs segments aval : conduite autonome, IoT, smartphones notamment ;
- ◆ composants de puissance. Cet axe vise à développer de nouvelles technologies de composants pour les appareils intelligents (IoT) ainsi que pour les véhicules électriques et hybrides. Il s'agit d'augmenter la fiabilité et d'améliorer la performance énergétique des composants finaux (mécanismes d'entraînements électriques, moteurs statiques simples, conditionnement d'énergie)<sup>101</sup>;
- ◆ semi-conducteurs composites, notamment les technologies à nitrure de Gallium (GaN) et à carbure de Silicium (SiC). Il s'agit d'alliages à large bande interdite<sup>102</sup>, ce qui leur permet de fonctionner à des tensions, des fréquences et des températures plus élevés que les semi-conducteurs classiques à base de silicium. Les domaines d'application naturels sont **l'électronique de puissance notamment utilisée dans le cadre de la mobilité électrique** (chargeurs de batterie rapide, onduleurs, convertisseurs de puissance pour les trains ou les véhicules électriques), les télécommunications (amplificateurs de puissance radiofréquence notamment pour la 5G, les radars et les systèmes satellites), ou encore l'aéronautique aérospatiale et militaire nécessitant de faire fonctionner les composants électroniques dans des environnements extrêmes.

<sup>99</sup> La course au More Moore a été abandonnée par le dernier fondeur français (STMicroelectronics) à la génération 28 nm. Le projet Liberty à Crolles, en collaboration avec l'américain Global Foundries, devrait permettre de développer le niveau de gravure de 10nm sur des supports FD-SOI

<sup>100</sup> Il représente la moitié des financements accordés, 48 % des brevets déposés, 51 % des conférences, 57 % des publications et 57 % des thèses et postdocs déclarés (calcul mission, sur la base des données de reporting européen)

<sup>101</sup> *Évaluation intermédiaire du programme Nano 2022*, Rapport Deloitte, juillet 2022 ; *Les projets importants d'intérêt européen commun, un outil de politique industrielle européenne*, les Thémas de la DGE, janvier 2024.

<sup>102</sup> La bande interdite d'un matériau, ou gap, est l'intervalle, situé entre la bande de valence et la bande de conduction, dans lequel la densité d'états électroniques est nulle, de sorte qu'on n'y trouve pas de niveau d'énergie électronique. La taille de cet écart détermine la facilité avec laquelle le matériau peut être activé pour conduire un courant, influençant ses propriétés électriques et optiques.

**Les grands champs technologiques adressés par le plan correspondent aux principaux marchés domestiques aval** (*cf.* tableau 3). Les quatre champs technologiques ciblés intéressent le secteur de l'automobile, que ce soit dans le cadre du développement du véhicule électrique (électronique de puissance, semi-conducteurs composites) ou du véhicule autonome (FD-SOI, capteurs, mémoires embarquées). Ils permettent de se positionner sur un marché en croissance, l'internet des objets (*via* les capteurs et les technologies FD-SOI notamment), et de conserver un atout important sur celui des smartphones et télécommunications (*via* les technologies RFSOI).

Si les industries aval sont bien ciblées, il apparaît néanmoins que le chiffre d'affaires des produits Nano entre 2018 et 2021 a été principalement réalisé à l'export (742 M€ sur 767 M€<sup>103</sup>, soit 96 %). Sans qu'il soit possible de le quantifier, cela peut s'expliquer par les nombreux intermédiaires sur la chaîne de valeur entre le producteur de composants électroniques et l'industriel final, notamment sur le segment de l'assemblage, du test et du packaging qui est principalement réalisé en Chine et en Asie du sud-est.

---

<sup>103</sup> Évaluation intermédiaire du programme Nano 2022, Rapport Deloitte, juillet 2022, tableaux 16 et 17.

**Annexe III**

**Tableau 3 : Matrice croisée intrants et savoir-faire vs type de composant**

	<b>Typologie</b>	<b>Composant logiques avancés</b>	<b>Composants logiques matures</b>	<b>Composant logique spécifique IA</b>	<b>Mémoires</b>	<b>Composants analogiques et capteurs</b>	<b>Composants de puissance</b>
<b>Table de dépendance</b>							
Intrants	Wafers de silicium	JP	JP	JP	JP	JP	JP
	Wafers en matériaux composés	Non applicable (N.A.)	N.A.	N.A.	N.A.	FR	FR
	Masques et résines	JP	JP	JP	JP	JP	JP
	Intrants chimiques gazeux	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA	UE, FR, USA
	Intrants chimiques liquides	USA, JP, UE	USA, JP	USA, JP	USA, JP	USA, JP	USA, JP
Machines-outils et logiciels de conception	Équipement fonderie	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA	NL, JP, USA
	... dont machines de photolithographies EUV	NL	N.A.	NL	N.A.	N.A.	N.A.
	... autres équipements nécessaires à la fonderie	JP, USA	JP, USA	JP, USA	JP, USA	JP, USA	JP, USA
	Logiciels EDA	USA, UK	USA, UK	USA, UK	USA, UK	USA, UK	USA, UK
Production	Capacités (conception)	USA	Réparti	USA	CO	Réparti	Réparti
	Capacités (fonderie)	TW, USA, CO	Réparti	TW, USA, CO	TW, USA, CO	Réparti	Réparti
Assemblage, testing, packaging	Intrants ATP (fils, céramiques)	JP	JP	JP	JP	JP	JP
	Machines-outils ATP	Réparti	Réparti	Réparti	Réparti	Réparti	Réparti
	Capacités industrielles ATP	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA	CN, TW, SEA
<b>Usages, perspectives et soutien public</b>							
	Secteur aval	Automobile, Smartphone, PC et data center	Automobile, IoT	Automobile, Smartphone, PC et data center	Automobile, Smartphone, PC et data center, IoT	Automobile, IoT	Automobile, IoT
	Croissance 2020-2023	+40 %		+100%	-30 %	+30 %	+60%
	Croissance prévue 2020-2030	+150 %		+2 200%	+200 %	+120 %	+230%
	Soutien IPCEI	✘	✓	✘	✘	✓	✓
	Soutien Chips Act	✘	✓	✘	✘	✘	✘

*Source : Mission, sur la base du rapport intermédiaire Deloitte, des documents transmis par le CEA.*

*Note de lecture : Case colorées en vert, segments sur lesquels la France possède des acteurs importants sur la chaîne de valeur ; en bleu, ceux pour lesquels l'Europe possède des acteurs importants sur la chaîne de valeur ; en orange, les principales vulnérabilités (cf. Annexe V). Liste des pays : États-Unis (USA), Chine (CN), Japon (JP), Corée (CO), Taiwan (TW), Asie du sud-est (SEA), Union Européenne (UE), France (FR), Pays-Bas (NL), Royaume-Uni (UK).*

### 3.2. L'activité civile des industries produisant des composants électroniques pour la défense nationale a été soutenue

**L'objectif pour le secteur de la défense n'est pas de disposer de capacités de production dédiées, mais d'un écosystème domestique d'entreprises à même d'assurer la production des composants critiques qui entrent dans ses systèmes d'armes.** La position des industriels de l'armement vis-à-vis des producteurs de semi-conducteurs relève en effet d'un équilibre délicat : clients plus que donneurs d'ordre, ils se servent sur étagère des produits développés dans le cadre civil. Par ailleurs, si les composants électroniques sont des actifs stratégiques pour la défense, la réciproque n'est pas vraie. Depuis plus de vingt ans, les ventes de semi-conducteurs destinés à des applications militaires représentent en effet de l'ordre de 1 % du total des ventes de composants électroniques.

Dans la mesure où l'ensemble de la chaîne de valeur est représentée, il semblerait que cet écosystème réponde en France aux besoins des donneurs d'ordre : les entreprises Dolphin, EASIIIC, Nano Explore, Pixalis sont présentes sur la partie conception ; l'entreprise STMicroelectronics dispose de capacités de fonderies ; l'entreprise Egide est présente sur le packaging (notamment céramique) ; enfin, des EMS importantes comme Thales sont en mesure d'intégrer les composants dans des systèmes complexes.

Sur certaines technologies, la défense exprime néanmoins des besoins spécifiques qui dépassent les performances atteintes dans le cadre civil (*cf.* partie 1.3). Les entreprises qui répondent à ces segments spécifiques ont également été soutenues dans le cadre du plan Nano. L'entreprise Lynred a notamment bénéficié de 17,5 M€ de subventions entre 2018 et 2021<sup>104</sup>. Elle a déposé 42 brevets dont 32 dans le domaine des capteurs (notamment sur le segment des microbolomètres) et 10 dans celui des semi-conducteurs composites.

### 3.3. Le programme Nano a financé le développement de deux technologies s'inscrivant dans la course au « *More than Moore* »

#### 3.3.1. Le développement des technologies silicium sur isolant (SOI) vise à produire des composants à moindre consommation énergétique

**La technologie « silicium on isolant » (SOI) offre des gains en termes de rapidité, de fiabilité et de consommation énergétique par rapport aux technologies de substrat massif (dites « silicium bulk »).** Inventée par le LETI, la technologie SOI repose sur l'ajout d'une fine couche d'oxyde de silicium isolant par rapport à l'architecture classique des transistors. Cette couche permet notamment de limiter le courant de fuite<sup>105</sup> (*cf.* graphique 9). La production à moindre coût de *wafers* SOI brut est une spécialité de l'entreprise Soitec, dépositaire du brevet *SmartCut* qui permet la découpe et le collage de couches ultraminces de silicium oxydé sur substrat de silicium. Dans les années 2010, le CEA Leti et STMicroelectronics ont de leur côté développé les premiers processeurs FD-SOI commercialisables, sur la technologie FD-SOI en 28 nm puis en 18nm, permettant d'intégrer de nouvelles fonctionnalités : radiofréquences, mémoires embarquées, microcontrôleurs notamment. Les principaux atouts de la technologie FD-SOI sont les suivants<sup>106</sup> :

- ◆ 25 % plus rapide que des transistors équivalents sur silicium massif ;

<sup>104</sup> Évaluation intermédiaire du programme Nano 2022, Rapport Deloitte, juillet 2022, questionnaire.

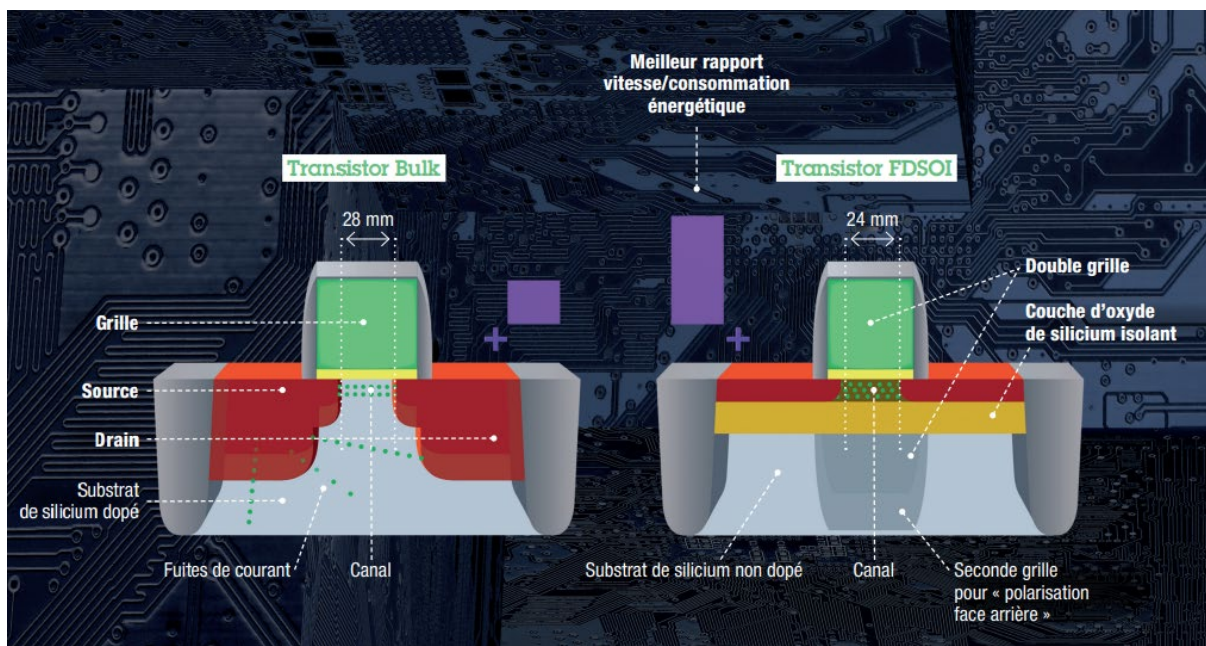
<sup>105</sup> La filière électronique en France : l'ère du renouveau, Étude XERFI, octobre 2023.

<sup>106</sup> M. Grousson, A. Ganier, (avril 2017). « Le transistor FD-SOI », *Les défis du CEA*.

### Annexe III

- ◆ 30 à 40 % moins énergivore que des transistors équivalents sur silicium massif<sup>107</sup> ;
- ◆ tension de services abaissée faible dissipation de puissance ;
- ◆ fiabilité avec un taux d'erreur de calcul de 100 à 1 000 fois moins élevé que les technologies sur substrat massif ;
- ◆ faible variabilité des transistors d'une même plaque car le substrat de silicium n'est pas dopé et présente une grande homogénéité ;
- ◆ compétitif car son architecture planaire autorise sa fabrication sur les outils standards de la microélectronique.

Graphique 9 : Technologie FD-SOI vs substrat massif



Source : Expanding our sustainable value creation ambition, Présentation Soitec, 8 juin 2023.

Du fait de ces propriétés, les composants électroniques FD-SOI sont adaptés à tous les secteurs où les performances pures doivent composer avec la plus faible consommation possible : électronique nomade<sup>108</sup>, internet des objets, automobile autonome, santé connectée. Les composants RF-SOI (*radio frequency silicium on isolant*) sont également présents<sup>109</sup> dans les smartphones (antennes, amplificateurs, interrupteurs)<sup>110</sup>. Le développement conjoint de la technologie FD-SOI<sup>111</sup> et des besoins aval (automobile, nouvelles générations de télécommunication, IA embarquée) en font un secteur à forte croissance potentielle.

<sup>107</sup> Expanding our sustainable value creation ambition, Présentation Soitec, 8 juin 2023.

<sup>108</sup> Notamment l'automobile embarquée, où les composants FD-SOI/RF-SOI sont présents dans les systèmes radars / LiDARs et les systèmes embarqués (mémoires, processeurs IA) (*Ibid*).

<sup>109</sup> Dans les téléphones de Google (Pixel 6 et 7), de Motorola (Motorola edge) et de Samsung (Samsung Galaxy A53) notamment. Les composants RFSOI pourraient s'imposer comme un standard avec l'arrivée des technologies 6G

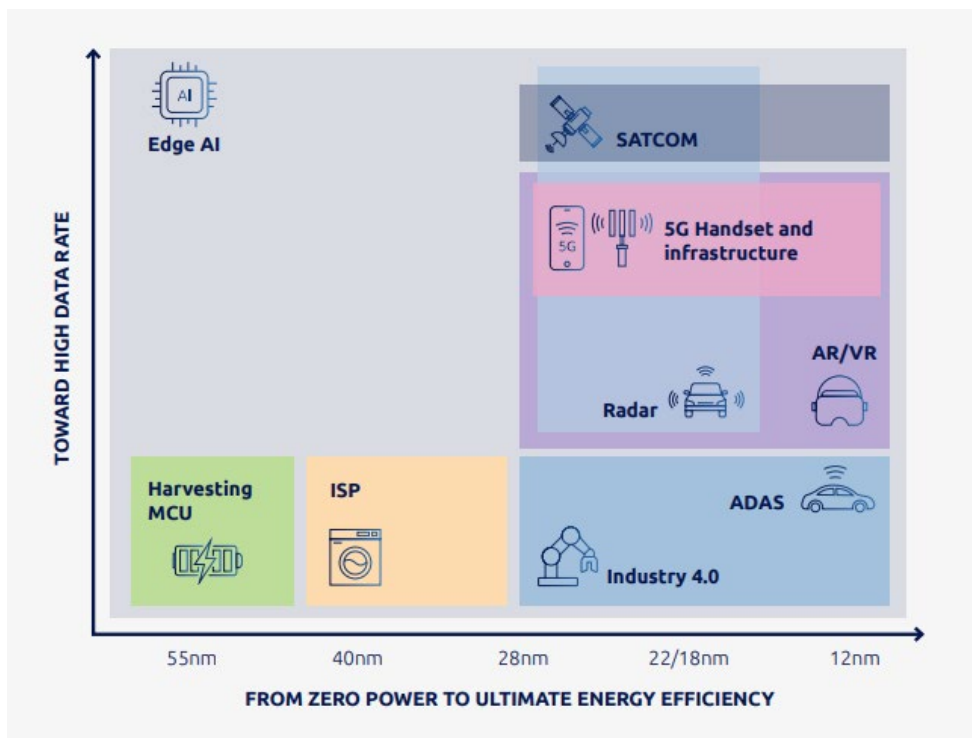
<sup>110</sup> Expanding our sustainable value creation ambition, Présentation Soitec, 8 juin 2023.

<sup>111</sup> Ligne de 18nm dans le cadre du projet Liberty, ligne pilote à 10nm

### Annexe III

La technologie FD-SOI est également identifiée comme une piste alternative au « *More Moore* » pour poursuivre le défi de la miniaturisation. Même si des progrès en termes de miniaturisation continuent d'être réalisés au sein des fonderies de TSMC et de SAMSUNG, le contrôle des propriétés électriques des transistors devient de plus en plus complexe (notamment du fait des courants de fuite et des déperditions énergétiques). Pour pallier ces difficultés, deux approches sont identifiées. L'entreprise Intel a proposé une nouvelle architecture de transistor 3D, le FinFET, qui améliore notamment les performances de vitesse des composants classiques. De leur côté, le Leti, Soitec et STMicroelectronics ont développé un transistor planaire, le FD-SOI, qui permet de jouer à la demande sur le couple vitesse/consommation et qui constitue une technologie différenciante domestique<sup>112</sup>.

Graphique 10 : usages identifiés pour les technologies SOI



Source : Expanding our sustainable value creation ambition, Présentation Soitec, 8 juin 2023.

<sup>112</sup> STMicroelectronics company presentation, Présentation STMicroelectronics, juillet 2024.

**Les entreprises françaises Soitec et STMicroelectronics sont leader sur la technologie FD-SOI<sup>113</sup>**, qui présente des perspectives de développement. Elles investissent actuellement pour industrialiser certains procédés (partiellement) développés dans le cadre du plan Nano. Soitec mène ainsi des travaux préparatoires concernant l'extension du site de Bernin 2 pour porter la capacité de production totale de l'usine de 650 000 à 800 000 plaques de 300 mm par an (FD-SOI, Photonique SOI, RF-SOI). L'usine de Bernin 3, anciennement dédiée à la R&D, devrait quant à elle être réallouée à la production pour substrats POI 150mm (filtres RF).<sup>114</sup> Le projet Liberty mené par STMicroelectronics sur son site de Crolles en lien avec Global Foundries s'inscrit également dans la lignée des travaux menés dans le cadre du plan Nano. Cette nouvelle ligne doit permettre de produire des wafers FD-SOI en 22nm, puis en 18nm, avec un objectif de production de 15 000 wafers par semaine<sup>115</sup>. Elle doit également servir à la recherche et développement de composants FD-SOI en 10nm.

### **3.3.2. Les substrats en nitrure de gallium et carbure de silicium représentent un marché en croissance sur lequel l'entreprise Soitec se positionne en leader mondial**

**Les substrats en carbure de silicium (SiC) et en nitrure de gallium (GaN) possèdent des propriétés intrinsèques qui présentent un intérêt en électronique de puissance, en optoélectronique et en électronique haute fréquence<sup>116</sup>.**

- ◆ la structure de bande interdite directe de ces alliages permet de réaliser des dispositifs optiques dans un large spectre électromagnétique (allant du visible aux ultraviolets, en émission et en détection). En particulier, le matériau GaN est le seul qui puisse prétendre à des applications opto-électroniques aux courtes longueurs d'onde (bleu, ultra-violet, blanc). Le phosphore d'indium (InP) est un autre matériau composite présent dans la *roadmap* technologique de Soitec qui présente des propriétés optiques particulières ;
- ◆ les matériaux GaN et SiC sont particulièrement adaptés au domaine de l'électronique de puissance du fait de leur large bande interdite. Le GaN peut drainer de forts courants (plusieurs ampères) à des températures élevées (plus de 300°C), avec un bon rapport de masse et de volume. Ces propriétés sont intéressantes pour une utilisation sur le segment des véhicules automobiles électriques, ainsi qu'en aéronautique ;
- ◆ la large bande interdite présente également un intérêt pour les applications haute fréquence, de type RADAR voire de télécommunication civile nouvelle génération. Si les technologies RF SOI sont privilégiés pour la génération de télécommunication 5G, l'entreprise Soitec a intégré dans sa *roadmap* le développement d'antennes RF GaN, notamment pour satisfaire les besoins de la 6G.

---

<sup>113</sup> *Expanding our sustainable value creation ambition*, Présentation Soitec, 8 juin 2023.

<sup>114</sup> *Évaluation intermédiaire du programme Nano 2022*, Rapport Deloitte, juillet 2022

<sup>115</sup> *Nano 2022 / IPCEI Microelectronics*, Rapport d'information STMicroelectronics, 13 mai 2023.

<sup>116</sup> J. G. Tartarin, (24 novembre 2008). « La technologie GaN et ses applications pour l'électronique robuste, haute fréquence et de puissance ».

### Annexe III

Si le marché des plaquettes en semi-conducteurs composites reste un marché de niche par rapport au marché des plaquettes en silicium (environ 6% des plaquettes produites en 2022, soit 15 millions sur 240 millions<sup>117</sup>), il s'agit néanmoins d'un marché en croissance de produits non substituables. La demande projetée en plaquettes composites devrait ainsi doubler d'ici 2030 (contre 40% d'augmentation pour l'ensemble du marché des plaquettes), sous l'effet du développement des véhicules électriques et du déploiement de la 5G. L'entreprise Soitec est un leader mondial sur ce segment, avec un tiers de parts de marchés, et des ambitions qui doivent l'amener à 50 % de parts de marché en 2030.

---

<sup>117</sup> *Expanding our sustainable value creation ambition*, Présentation Soitec, p 9, 8 juin 2023.

## **ANNEXE IV**

### **Analyse descriptive et causale de l'activité des bénéficiaires, et principaux résultats du programme Nano 2022**

# SOMMAIRE

<b>1. LE PROGRAMME NANO 2022 A SOUTENU UN ECOSYSTEME INDUSTRIEL QUI A REALISE 1,2 % DU CHIFFRE D'AFFAIRES DE L'INDUSTRIE MANUFACTURIERE FRANÇAISE EN 2021.....</b>	<b>1</b>
1.1. Le programme Nano 2022 a soutenu les six principaux producteurs de semi-conducteurs en France et un écosystème de laboratoires et d'entreprises de plus petite taille .....	1
1.1.1. <i>Les chefs de file du programme représentent 73 % de la production française de semi-conducteurs en 2022, et 47 % du CA des producteurs de semi-conducteurs.....</i>	<i>1</i>
1.1.2. <i>Les partenaires des chefs de file sont majoritairement des laboratoires publics et des PME, qui ne sont pas des producteurs de semi-conducteurs..</i>	<i>3</i>
1.2. La part du chiffre d'affaires et de la masse salariale des chefs de file du programme Nano 2022 dans l'industrie manufacturière française a augmenté entre 2017 et 2021 .....	4
<b>2. ENTRE 2018 ET 2022, LES PERFORMANCES DES CHEFS DE FILE INDUSTRIELS S'AMELIORENT, TANDIS QUE CELLES DES AUTRES ENTREPRISES PARTENAIRES RESTENT STABLES.....</b>	<b>8</b>
2.1. La continuité des programmes d'aide au secteur, combinée aux retards pris dans le processus de conventionnement, rend difficile la détermination d'une date de début des effets du programme Nano 2022.....	8
2.1.1. <i>STMicroelectronics et le CEA-Leti, qui sont bénéficiaires de 79 % des subventions du programme Nano 2022, font l'objet d'un soutien public continu depuis le début des années 2000 .....</i>	<i>9</i>
2.1.2. <i>Les effets du programme Nano 2022 sur les autres bénéficiaires du programme doivent être recherchés à partir de 2020, une année marquée par la crise sanitaire ayant perturbé l'ensemble des chaînes de production. ....</i>	<i>10</i>
2.2. Sans pouvoir attribuer leur évolution au soutien public accordé, les données administratives montrent une hausse continue des indicateurs de performance économique des chefs de file industriels depuis 2015 .....	11
2.2.1. <i>En série longue les indicateurs d'activité et de rentabilité montrent une détérioration de la situation économique des chefs de file entre 2010 et 2014, suivie d'une amélioration continue à partir de 2015 qui s'accélère depuis 2021 .....</i>	<i>11</i>
2.2.2. <i>La contribution des projets du programme Nano 2022 au chiffre d'affaires total des chefs de file entre 2018 et 2022 varie entre 1 % et 24 % en fonction des entreprises.....</i>	<i>16</i>
2.3. La valeur de la production des chefs de file a augmenté de 71 % entre 2017 et 2022, soit près de deux fois plus vite que la valeur du marché mondial des semi-conducteurs.....	17

<b>3. LE PROGRAMME NANO 2022 A SOUTENU LES ACTIONS DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT DES BENEFICIAIRES ET LA MISE EN PLACE DE PREMIERES INDUSTRIALISATIONS, MAIS AVEC UN EFFET LEVIER INEXISTANT .....</b>	<b>23</b>
3.1. L'activité d'innovation des chefs de file est stable depuis 2010 .....	23
3.1.1. <i>L'activité d'innovation des chefs de file depuis 2010 se caractérise par une stabilité du nombre de brevets déposés en France et des effectifs de R&amp;D, et par une augmentation du salaire médian .....</i>	<i>23</i>
3.1.2. <i>Les projets soutenus par le programme Nano 2022 ont entraîné le dépôt de 1 486 brevets et la publication de 1 062 articles scientifiques.....</i>	<i>29</i>
3.2. Les projets du programme Nano 2022 ont conduit au développement de 66 produits en partenariat entre acteurs privés et publics, et ont largement contribué à l'activité du CEA-Leti .....	30
3.2.1. <i>Le programme Nano a soutenu les investissements des industriels dans la recherche et le développement pour des montants deux fois inférieurs à la créance obtenue au titre du crédit impôt recherche (CIR) .....</i>	<i>30</i>
3.2.2. <i>Les produits développés dans les projets de Nano 2022 ont progressé en moyenne de 3,4 points sur l'échelle TRL, atteignant une maturité suffisante pour leur premier déploiement industriel.....</i>	<i>33</i>
3.2.3. <i>Le programme Nano 2022, qui a représenté 23 % des recettes externes du CEA-Leti entre 2018 et 2022, est la deuxième source de financement de ce laboratoire après les contrats industriels, qui constituent 45 % des recettes .....</i>	<i>35</i>
3.3. L'analyse causale à partir d'un contrefactuel synthétique, réalisable pour six des douze unités légales des chefs de file, montre que l'effet du programme Nano 2022 sur les dépenses de R&D n'est pas significatif pour quatre entités, est positif pour une entité et négatif pour la dernière.....	37

## **1. Le programme Nano 2022 a soutenu un écosystème industriel qui a réalisé 1,2 % du chiffre d'affaires de l'industrie manufacturière française en 2021**

### **1.1. Le programme Nano 2022 a soutenu les six principaux producteurs de semi-conducteurs en France et un écosystème de laboratoires et d'entreprises de plus petite taille**

Le programme Nano 2022, qui s'est déroulé de 2018 à 2022, a été construit autour de six chefs de file industriels, les entreprises STMicroelectronics, Soitec, LYNRED, Murata Integrated Passive Solutions, X-Fab et United Monolithic Semiconductors (UMS). Les projets portés par les chefs de file ont été réalisés en partenariat avec des acteurs académiques (laboratoires de recherche public, dont le CEA-Leti), et d'autres entreprises commerciales.

#### **1.1.1. Les chefs de file du programme représentent 73 % de la production française de semi-conducteurs en 2022, et 47 % du CA des producteurs de semi-conducteurs**

Les six chefs de file industriels du programme Nano 2022 sont enregistrés au répertoire Sirene de l'Insee, et détiennent ainsi un code décrivant leur activité principale exercée (APE)<sup>1</sup>. Les sites français du groupe STMicroelectronics correspondent à sept unités légales, dont quatre dans la catégorie d'activité « *Fabrication de composants électroniques* »<sup>2</sup> et trois dans la catégorie « *Recherche et développement : autres sciences physiques et naturelles* ». Les cinq autres chefs de file industriels, sont enregistrés dans la catégorie d'activité « *Fabrication de composants électroniques* ».

Les chefs de file sont des entreprises de taille importante : STMicroelectronics est une grande entreprise (GE) et Soitec, LYNRED, UMS et X-Fab sont des ETI de plus de 1000 salariés. Murata Integrated Passive Solutions est enregistrée comme PME, mais il s'agit d'une filiale du groupe japonais multinational Murata Manufacturing qui emploie plus de 70 000 personnes en 2024.

**Les six chefs de file industriels du programme Nano 2022 sont des producteurs de semi-conducteurs.** En 2022, leur production de produits identifiés comme semi-conducteurs dans la liste SCAN<sup>3</sup> de la Commission européenne s'élève à 3 Md€ (cf. graphique 1).

L'ensemble des entreprises productrices de semi-conducteurs sont identifiées dans l'enquête annuelle de production réalisée par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) comme ayant fabriqué en France dans leur unité légale des produits semi-conducteurs (plaquettes ou produits finis) de la liste SCAN.

---

<sup>1</sup> Le code APE décrit la branche d'activité principale de l'établissement, déterminée par l'administration selon l'activité qui représente la plus grande part du chiffre d'affaires ou des effectifs. Il est décrit selon la nomenclature d'activités française.

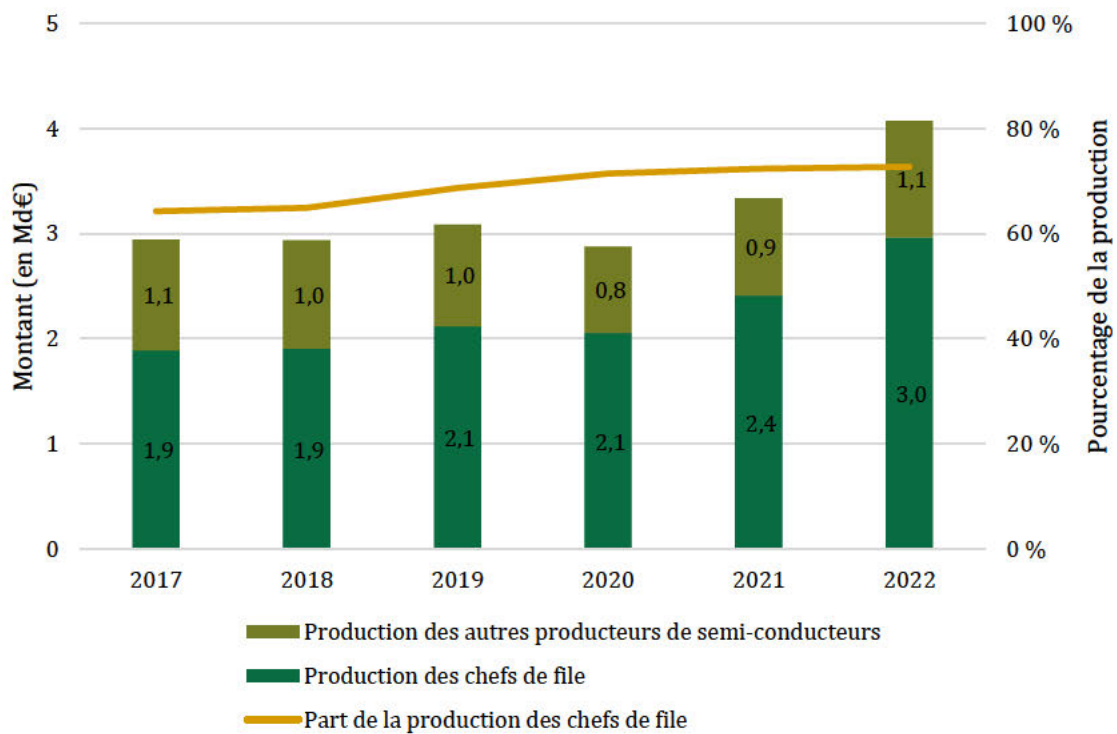
<sup>2</sup> Le code « fabrication de composants électroniques » (26.11Z) recouvre un secteur plus large que celui des semi-conducteurs, avec par exemple le photovoltaïque.

<sup>3</sup> Bonnet, P., & Ciani, A. (2023). Applying the SCAN methodology to the Semiconductor Supply Chain (No. 2023/8). JRC Working Papers in Economics and Finance.

**En 2021, 97 entreprises ont fabriqué des semi-conducteurs en France.** 59 entreprises (soit 61 %) ont leur activité principale décrite par le même code NAF que les chefs de file du programme Nano 2022, soit « *Fabrication de composants électroniques* » (26.11.Z). Les autres entreprises se répartissent parmi les autres sous-catégories de la division 26 de la NAF « *fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques* », et dans d'autres divisions de l'industrie manufacturière principalement. Les entreprises productrices de semi-conducteurs ont des tailles variées : 10 sont des grandes entreprises (GE), 25 sont des entreprises de taille intermédiaire (ETI), 42 sont des petites et moyennes entreprises (PME) et 20 sont des micro-entreprises.

En 2022, la production totale française de semi-conducteurs s'élève à 4,1 Md€, dont 3,0 Md€ sont produits par les chefs de file du programme Nano 2022 (cf. graphique 1). **La production des chefs de file représente ainsi 73 % de la production française de semi-conducteurs en 2022.** Cette part a augmenté durant la période du programme Nano 2022, passant de 64 % en 2017 à 73 % en 2022.

**Graphique 1 : Production totale de semi-conducteurs par les chefs de file et les autres producteurs**



*Source : Insee- enquête annuelle de production.*

La production de semi-conducteurs représente la majorité du chiffre d'affaires (CA) des chefs de file du programme Nano 2022 : en 2022, celle-ci constituait 50 % du CA de ces entreprises. La situation est différente pour les autres producteurs de semi-conducteurs, pour lesquels ces produits ne représentent que 16 % du chiffre d'affaires la même année. Les chefs de file du programme Nano 2022 ne produisent pas l'intégralité des semi-conducteurs fabriqués en France, cependant, les producteurs de semi-conducteurs non aidés par le programme consacrent une part marginale de leur activité à ces produits<sup>4</sup>. Il apparaît donc que le programme Nano 2022 a aidé l'intégralité des producteurs de semi-conducteurs spécialisés dans cette activité.

### 1.1.2. Les partenaires des chefs de file sont majoritairement des laboratoires publics et des PME, qui ne sont pas des producteurs de semi-conducteurs

Les projets financés par le programme Nano 2022 sont portés par les six chefs de file industriels. Leurs réalisations associent 67 partenaires industriels et académiques (dont le CEA Leti) parmi lesquels :

- ◆ 37 entreprises commerciales, dont 33 ont encore une activité en 2024 ;
- ◆ 31 laboratoires de recherche ou associations.

Les activités principales exercées (APE) des 64 partenaires qui ont encore une activité en 2024 (cf. tableau 1) sont plus variées que celles des chefs de file : la plus fréquente, qui concerne 18 établissements, correspond au libellé NAF 72.19Z « recherche-développement : autres sciences physiques et naturelles » qui peut concerner des laboratoires ou des entreprises commerciales. Quatorze établissements sont décrits par le code NAF 85.42Z « enseignement supérieur » qui décrit les laboratoires de recherche rattachés à une université.

Tableau 1 : Secteurs d'activité des partenaires du programme Nano 2022

Code Naf	Libellé Naf	Nombre d'établissements
72.19Z	Recherche-développement : autres sciences physiques et naturelles	18
85.42Z	Enseignement supérieur	14
26	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques	6
71.12B	Ingénierie, études techniques	5
28	Fabrication de machines et équipements n.c.a.	3
94	Activités des organisations associatives	3
74	Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques	3
30.30Z	Construction aéronautique et spatiale	2
62.02A	Conseil en systèmes et logiciels informatiques	2
20.30Z	Fabrication de peintures, vernis, encres et mastics	1
29.31Z	Fabrication équipements électriques et électroniques automobiles	1
58.29C	Edition de logiciels applicatifs	1
71.20B	Analyses, essais et inspections techniques	1
Non applicable (N.A.)	Entreprise plus en activité en 2024	4
<b>Total</b>		<b>64</b>

Source : Direction générale des entreprises (DGE), Insee, 2024.

<sup>4</sup> D'après le croisement de la base FARE et de l'enquête annuelle de production, six entreprises hors chefs de file du programme Nano 2022 produisent des semi-conducteurs et réalisent plus de 150 M€ de chiffre d'affaires. Cependant, la production de semi-conducteurs représente moins de 25 % du chiffre d'affaires de chacune.

## Annexe IV

Toutes les tailles d'entreprises sont représentées parmi les 37 entreprises partenaires du programme Nano 2022 (cf. tableau 2). **Les petites et moyennes entreprises sont majoritaires (59 %)**, suivies des entreprises de taille intermédiaire (19 %).

**Tableau 2 : Taille des entreprises partenaires du programme Nano 2022**

Catégorie	Nombre d'entreprises	Part d'entreprises
Grandes entreprises (GE)	6	16 %
Entreprises de taille intermédiaire (ETI)	7	19 %
Petite et moyennes entreprises (PME)	22	59 %
Micro-entreprises (MICRO)	2	5 %
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>100 %</b>

Source : Insee, FARE.

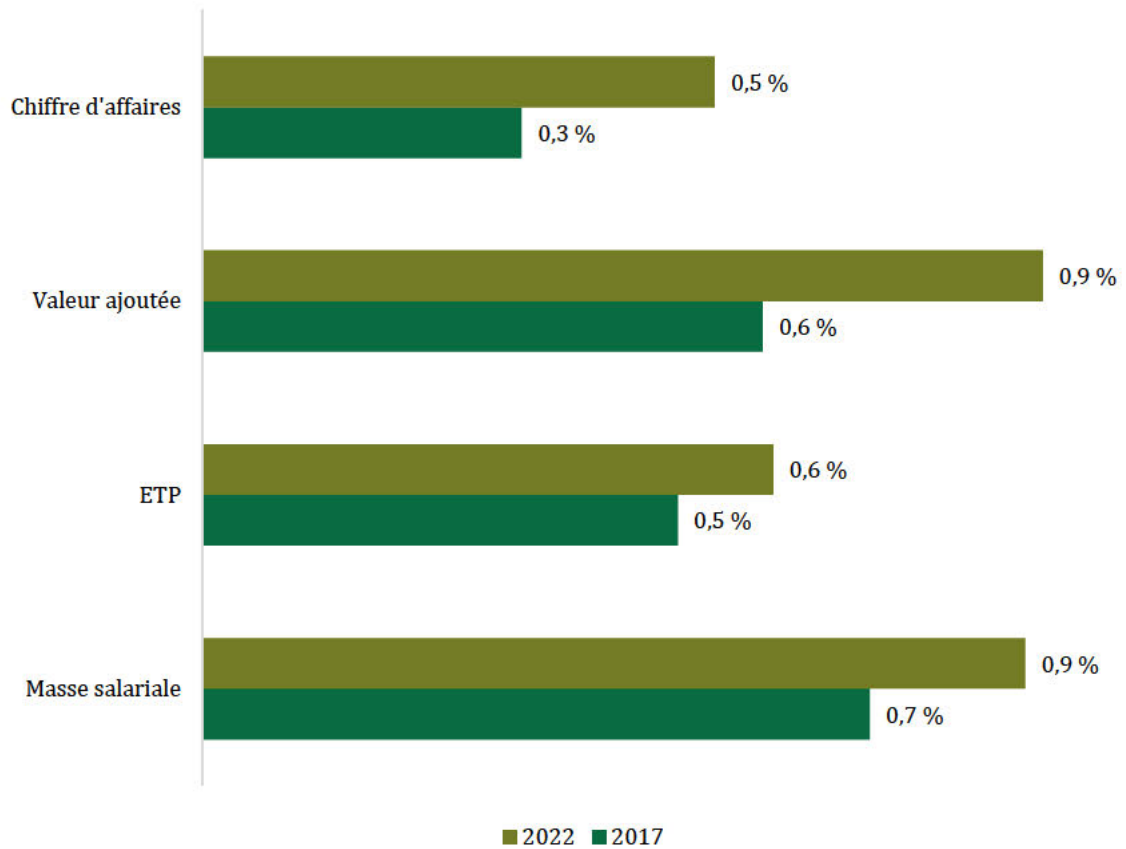
Tous les chefs de file industriels ont mené leurs projets avec le CEA-Leti, à l'exception de X-Fab. Au total, STMicroelectronics a associé 53 partenaires à ses projets. Soitec a travaillé avec 10 partenaires, Murata Integrated Passive Solutions avec 7, UMS avec 4, X-Fab avec 3 et LYNRED avec 3. Deux entreprises et cinq laboratoires ont participé à des projets portés par des chefs de file différents.

### **1.2. La part du chiffre d'affaires et de la masse salariale des chefs de file du programme Nano 2022 dans l'industrie manufacturière française a augmenté entre 2017 et 2021**

**Les chefs de file et partenaires industriels du programme Nano 2022 représentent une part réduite de l'industrie manufacturière française** : en 2022, dernière année disponible, **ils représentaient 1,2 % du chiffre d'affaires total de l'industrie**. Entre 2017 et 2022 cette part a augmenté, principalement portée par le dynamisme du chiffre d'affaires des chefs de file du programme, qui est passé de 0,3 % du CA de l'industrie à 0,5 % (cf. graphique 2). La part du chiffre d'affaires des partenaires de Nano 2022 dans le chiffre d'affaires de l'industrie est restée stable sur la période, autour de 0,7 %. La part des chefs de file dans la valeur ajoutée (VA) de l'industrie manufacturière augmente entre 2017 et 2022 en passant de 0,6 % à 0,9 %. Cette proportion est presque deux fois supérieure à leur part dans le chiffre d'affaires de l'industrie manufacturière.

## Annexe IV

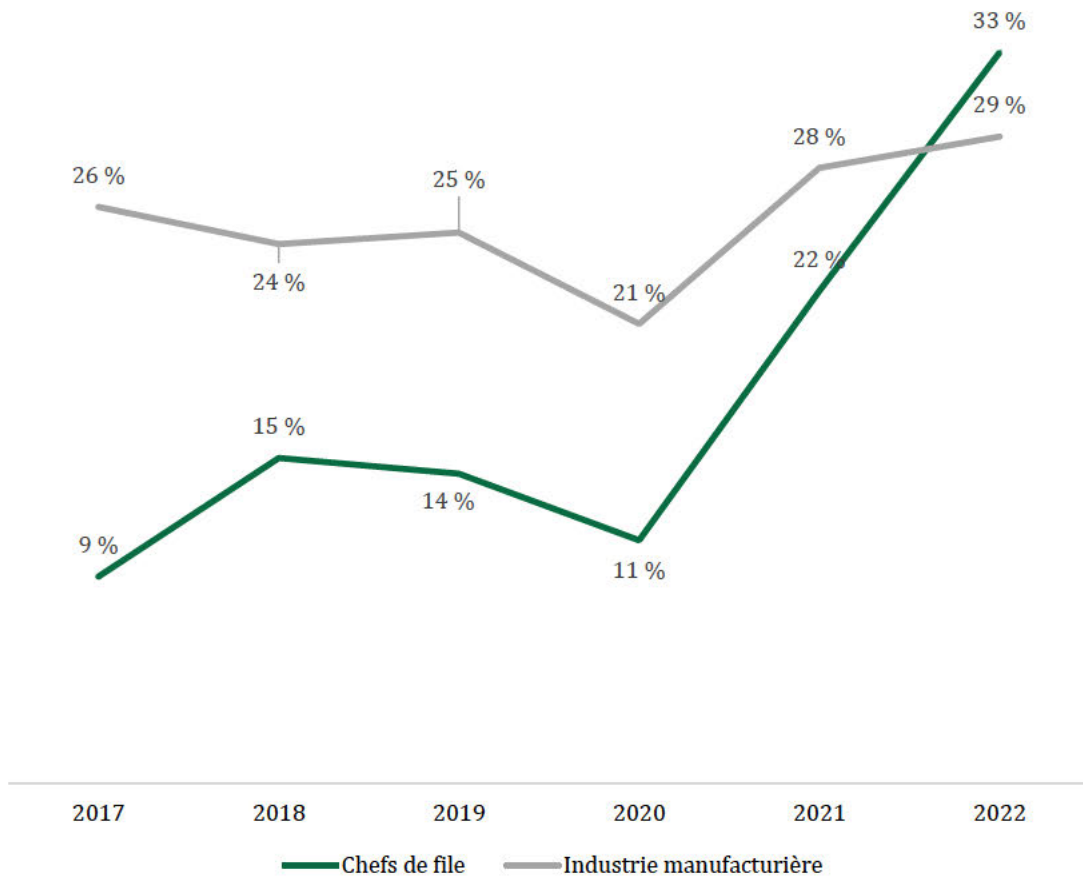
**Graphique 2 : Part des chefs de file du programme Nano 2022 dans l'industrie manufacturière française**



*Source : FARE et DADS, calcul pôle sciences de données de l'IGF.*

Le taux de marge moyen de l'industrie manufacturière, défini ici comme le rapport entre l'excédent brut d'exploitation (EBE) et la valeur ajoutée (VA) pondéré par le chiffre d'affaires s'établit de manière stable autour de 25 % sur la période 2017-2022 (cf. graphique 3). Le taux de marge moyen des chefs de file du programme s'établit à un niveau plus faible de 2017 à 2020 autour de 13%, suivi d'une forte hausse en 2021 et 2022 pour atteindre 33 % en 2022 et dépasser celui de l'industrie manufacturière. Le taux de marge moyen des partenaires (pondéré par le CA) ne suit pas la même dynamique et oscille autour de 15 % sur la période du programme.

Graphique 3 : Taux de marge moyen, pondéré par le chiffre d'affaires



*Source : FARE, calcul pôle sciences de données de l'IGF.*

Les chefs de file emploient 15 871 équivalents temps plein (ETP) en 2022, ce qui représente 0,6 % de l'industrie manufacturière (cf. encadré 1). Les chefs de file ont une composition de l'emploi par catégorie socioprofessionnelle opposée à celle de l'ensemble de l'industrie manufacturière : **les chefs de file emploient majoritairement des cadres et professions intellectuelles supérieures, qui représentent 53 % des ETP en 2022 (contre 20 % des ETP de l'industrie), et les ouvriers représentent 17 % des ETP (contre 49 % dans l'ensemble de l'industrie)**. Ainsi, la part de la masse salariale des chefs de file dans celle de l'industrie manufacturière est plus élevée (0,9 %) que sa part dans le nombre d'ETP (0,6 %). La part de la masse salariale des chefs de file a augmenté entre 2017 et 2022, passant de 0,7 % à 0,9 % (cf. graphique 2), portée par l'augmentation plus forte du nombre de cadres chez les chefs de file (+23 %) que dans l'ensemble de l'industrie manufacturière (+8 %).

**Encadré 1 : Définition des concepts d'effectifs**

Un même individu peut apparaître plusieurs fois dans la déclaration annuelle des données sociales (DADS) pour une même année s'il a travaillé pour plusieurs employeurs.

Les **effectifs, comptabilisés en personnes physiques**, représentent le nombre d'individus ayant été employé à un poste vérifiant la définition de la sous-population d'intérêt, en poste au 31 décembre de l'année considérée.

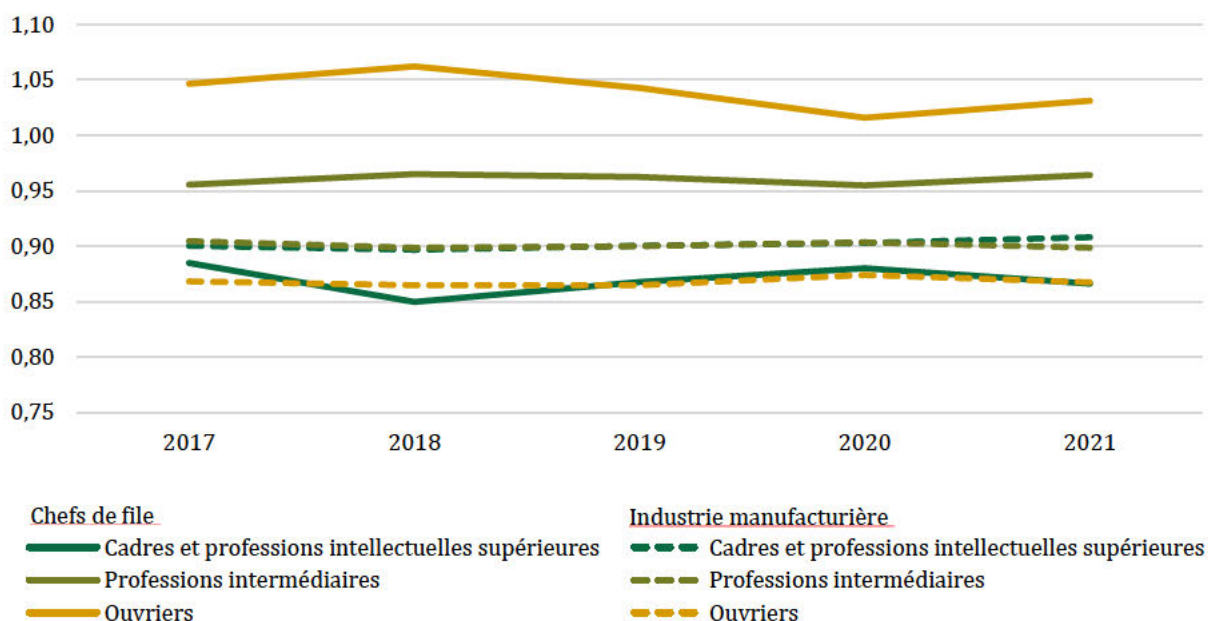
Ne sont comptabilisés que les personnes physiques employées à des **postes non annexes**, c'est-à-dire dont la rémunération sur l'année est supérieure à 3 SMIC mensuels ou dont la durée d'emploi dépasse 30 jours et 120 heures et que le rapport nombre d'heures/durée est supérieur à 1,5, et définis comme **actifs** au 31 décembre.

Le **nombre d'ETP représente la somme de tous les équivalents temps plein annuel** des postes vérifiant la définition de la sous-population d'intérêt, en poste au 31 décembre de l'année considérée, employés à des postes non annexes et actifs. Les équivalents temps plein sont calculés sur la base de 1 820 heures annuelles : un agent embauché en septembre à temps plein représentera 0,333 en équivalent temps plein.

*Source : Pôle sciences de données de l'IGF.*

**En 2021 (dernière année disponible), le plus grand écart de rémunération entre les hommes et les femmes chez les chefs de file concerne les cadres et professions intellectuelles supérieures, qui constituent la majorité de l'emploi : dans cette catégorie, le salaire médian des femmes est inférieur de 13 % à celui des hommes (contre 9 % dans l'ensemble de l'industrie manufacturière).** Les écarts de rémunération entre les hommes et les femmes sont moins marqués pour les professions intermédiaires et les ouvriers. Chez les chefs de file, le salaire médian des femmes ouvriers est supérieur de 4 % à celui des hommes, tandis que celui des femmes exerçant une profession intermédiaire est inférieur de 1 % à celui des hommes. À titre de comparaison, ces écarts s'établissent à 13 % et 12 % respectivement dans l'ensemble de l'industrie. Les employés sont exclus de l'analyse, car ils représentent moins de 300 ETP chez les chefs de file. **Les écarts de rémunération sont stables depuis 2017** (cf. graphique 4).

Graphique 4 : Salaire médian des femmes rapporté au salaire médian des hommes



Source : DADS, calcul pôle sciences de données de l'IGF.

## 2. Entre 2018 et 2022, les performances des chefs de file industriels s'améliorent, tandis que celles des autres entreprises partenaires restent stables

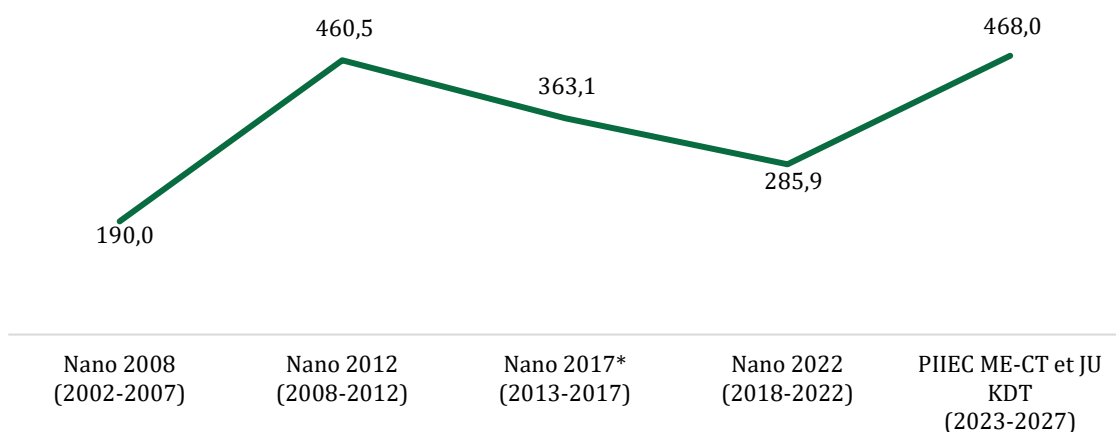
### 2.1. La continuité des programmes d'aide au secteur, combinée aux retards pris dans le processus de conventionnement, rend difficile la détermination d'une date de début des effets du programme Nano 2022

L'identification des impacts du programme Nano 2022 nécessite de comparer la situation avec et sans l'aide publique accordée. Afin d'isoler les effets du programme des effets de la conjoncture, il s'agit de faire une comparaison avant et après « *traitement* » (ici, le programme Nano 2022), et entre entreprises bénéficiaires et non bénéficiaires (ce qui ici revêt une complexité particulière, détaillée au 3.3). La première étape est de déterminer à quelle date le programme a réellement démarré, afin de chercher les premiers effets à partir de celle-ci.

### 2.1.1. STMicroelectronics et le CEA-Leti, qui sont bénéficiaires de 79 % des subventions du programme Nano 2022, font l'objet d'un soutien public continu depuis le début des années 2000

STMicroelectronics a été aidé par des financements publics dans le cadre des programmes Nano depuis leur création en 2002. Il s'agit de la seule entreprise du secteur à avoir bénéficié de ce soutien continu (cf. annexe II). **Au total, STMicroelectronics a bénéficié de 1,3 Md€ d'aides publiques nationales dans le cadre des quatre programmes Nano, de 2002 à 2022** (cf. graphique 5). Les montants dédiés à STMicroelectronics ont diminué entre Nano 2012 (460 M€) et Nano 2022 (286 M€). À champ équivalent, les dispositifs qui ont pris le relais des programmes Nano (le projet important d'intérêt européen commun sur la microélectronique et les technologies de la communication (PIIEC ME-CT) et l'entreprise commune sur les technologies digitales clés (JU KDT)) représentent un retour à la hausse de l'aide publique nationale accordée à STMicroelectronics pour des activités de R&D et de premier déploiement industriel (FID), avec un montant de 468 M€.

**Graphique 5 : Montant des aides publiques françaises reçues par STMicroelectronics pour la R&D et la FID (hors crédit impôt recherche)**



*Source : Mission. | Note de lecture : pour les programmes Nano il s'agit des paiements effectivement reçus par STMicroelectronics à la date de la mission. Pour le PIIEC ME-CT et JU KDT il s'agit de montants engagés.*

Les montants affichés ici ne prennent pas en compte les aides pour la production de technologies matures non présentes sur le sol européen, autorisées par la commission européenne depuis l'entrée en vigueur du règlement européen sur les puces (dit *European Chips act*) en 2023. Dans ce cadre, le projet Liberty prévoit un financement de 2,8 Md€ accordé par l'État français aux entreprises STMicroelectronics (1,1 Md€) et GlobalFoundries (1,7 Md€) pour la mise en place d'une nouvelle ligne de production commune de puces sur le site de Crolles<sup>5</sup> (cf. annexe I).

Le CEA-Leti est le principal acteur académique des programmes Nano depuis leur création, et reçoit aussi des financements dans ce cadre de manière continue depuis 2002.

Les autres chefs de file industriels n'étaient pas aidés directement par les programmes Nano avant Nano 2022.

<sup>5</sup> A la date de la mission (décembre 2024), l'entreprise GlobalFoundries signalait ses réserves quant à la réalisation de cet investissement, en raison du ralentissement mondial du marché des semi-conducteurs.

## Annexe IV

Les subventions de l'État accordées dans le cadre du programme Nano 2022 s'élèvent à 677,9 M€ (cf. annexe I). Elles bénéficient principalement à STMicroelectronics (44 % du montant total), et au CEA-Leti (35 %). Les autres chefs de file industriels ont des montants de subventions plus réduits : Soitec a reçu 6 % de l'aide<sup>6</sup>, LYNRED 4 %, X-Fab 3 % et UMS et Murata Integrated Passive Solutions ont bénéficié de 1 % chacune. Les engagements pris auprès des partenaires des chefs de file représentent 6 % des subventions. L'entreprise Soitec a aussi bénéficié d'un prêt de 200 M€. Le fonctionnement du programme Nano 2022 est décrit plus en détails dans l'annexe I.

### **2.1.2. Les effets du programme Nano 2022 sur les autres bénéficiaires du programme doivent être recherchés à partir de 2020, une année marquée par la crise sanitaire ayant perturbé l'ensemble des chaînes de production.**

La Commission européenne a validé les projets financés par le programme Nano 2022 en décembre 2018. Les conventions entre l'État et les bénéficiaires ont été établies entre la fin de l'année 2019 et la fin de l'année 2020. Ainsi, les premiers paiements n'ont été réalisés qu'à partir d'octobre 2019<sup>7</sup>, ce qui a entraîné un retard dans l'exécution des projets pour certains acteurs :

- ◆ les chefs de file, qui sont des structures de taille importante, ont pu débiter leurs travaux dès la validation de la Commission européenne ;
- ◆ les partenaires, qui sont des laboratoires et des entreprises de plus petite taille, ont attendu les versements pour pouvoir recruter les personnels en charge des projets.

Ainsi, les effets du programme Nano 2022 sur les bénéficiaires sont à rechercher à partir de différentes dates :

- ◆ pour STMicroelectronics et le CEA-Leti, l'aide publique dirigée est constante depuis le début des années 2000 : le chevauchement des projets soutenus par les différents programmes Nano ne permet pas de définir une date précise de début d'application de Nano 2022. Les résultats de ces structures sont les conséquences de la succession des programmes d'aide ;
- ◆ pour les cinq autres chefs de file industriels, la première année d'application du programme Nano 2022 est 2019 ;
- ◆ pour les partenaires, le programme Nano 2022 a débuté véritablement en cours d'année 2020.

Le retard pris par les partenaires se retrouve à l'heure actuelle dans l'état des paiements réalisés par la DGE : à la date de la mission (décembre 2024), les partenaires ont reçu 64 % des engagements accordés, alors que 94 % des sommes engagées auprès des chefs de file ont été payées.

Les projets du programme Nano 2022 ont aussi pu être retardés par la crise sanitaire mondiale liée au Covid 19, qui a débuté en 2020 et dont les dernières mesures de restriction ont été levées en milieu d'année 2022. Cette crise a eu un impact fort sur l'ensemble de la filière (cf. encadré 2), et représente un choc exogène qui a perturbé l'activité et la performance des acteurs. Ainsi les indicateurs économiques relatifs aux années encore affectées par le covid peuvent être difficilement interprétables.

---

<sup>6</sup> Il s'agit ici des subventions uniquement, qui n'incluent pas le prêt de 200 M€ octroyé à Soitec.

<sup>7</sup> A l'exception de deux projets menés par STMicroelectronics et SOITEC, sélectionnés par l'entreprise européenne commune ECSEL en décembre 2018, dont les versements aux partenaires ont pu être réalisés en cours d'année 2019 pour un montant de 1,7 M€.

**Encadré 2 : L'impact de la crise sanitaire de 2020 sur le secteur des semi-conducteurs**

La crise sanitaire mondiale de 2020 a eu un impact important sur le secteur des semi-conducteurs en France et dans le monde. La perturbation des chaînes logistiques, associée à une demande accrue pour des produits technologiques nécessaires au télétravail, à l'éducation à distance et aux loisirs, a engendré une pénurie mondiale de semi-conducteurs. Si STMicroelectronics a pu maintenir la production de son usine de Crolles pendant toute la crise, les mesures de confinement ont ralenti la production dans certains pays, tout en mettant en évidence une dépendance à des zones géographiques spécifiques pour le test et l'assemblage des composants (cf. annexe V). Cette crise a affecté de nombreux secteurs en aval, notamment l'automobile, l'électronique grand public et l'industrie manufacturière. Pour l'industrie automobile en effet, la reprise de l'activité s'est accompagnée d'une demande accrue pour les véhicules électriques et connectés. Or, les chaînes de production mondiales se sont prioritairement mobilisées pour répondre aux besoins de l'électronique grand public et des communications, ce qui a diminué l'offre destinée au marché automobile, entraînant des retards de livraison, des arrêts temporaires et une augmentation des coûts pour les constructeurs. Cette période a mis en évidence l'importance stratégique des semi-conducteurs pour la souveraineté économique et technologique (cf. annexe V), et a incité les États à mettre en œuvre des dispositifs de soutien au secteur afin de sécuriser leurs chaînes d'approvisionnement (cf. annexe VI).

*Source : Mission.*

**2.2. Sans pouvoir attribuer leur évolution au soutien public accordé, les données administratives montrent une hausse continue des indicateurs de performance économique des chefs de file industriels depuis 2015**

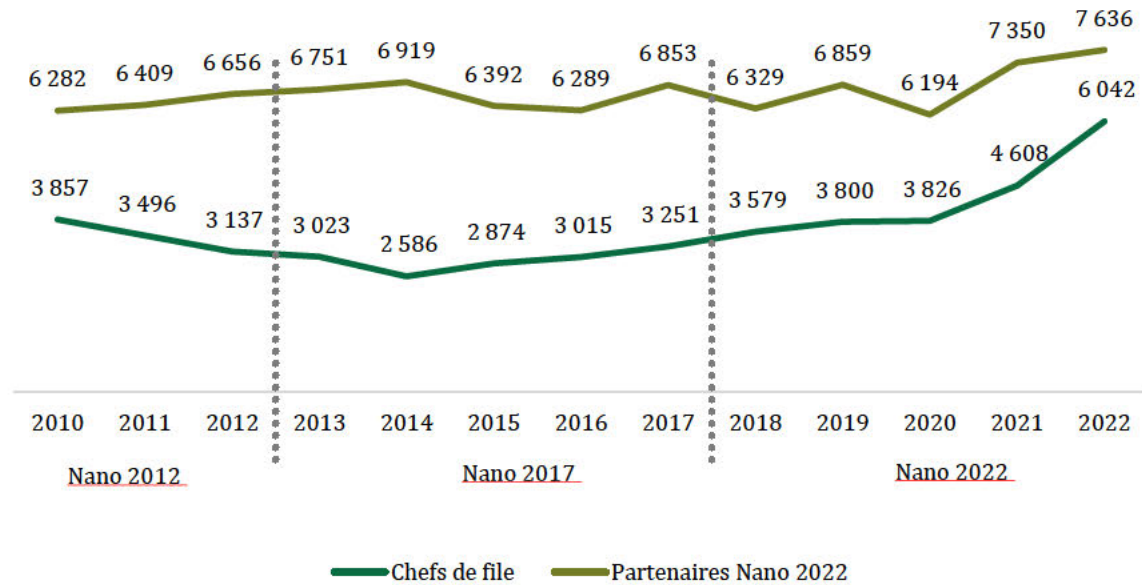
**2.2.1. En série longue les indicateurs d'activité et de rentabilité montrent une détérioration de la situation économique des chefs de file entre 2010 et 2014, suivie d'une amélioration continue à partir de 2015 qui s'accélère depuis 2021**

Les indicateurs d'activité et de rentabilité des entreprises commerciales qui ont une activité en France peuvent être extraits du dispositif ESANE piloté par l'Insee (cf. encadré 3). **Les entités françaises de STMicroelectronics et les cinq autres chefs de file industriels ont un chiffre d'affaires (CA) total de 6,0 Md€ en 2022** (cf. graphique 6). Le CA total a diminué entre 2010 et 2014 en passant de 3,9 à 2,6 Md€ en raison des difficultés traversées par le groupe STMicroelectronics<sup>8</sup>, avant d'amorcer une reprise en 2015 à un rythme constant de +10 % par an jusqu'en 2019. L'année 2020 présente une moindre croissance du CA (+1 %), suivie de très bonnes performances en 2021 (+20 %) et en 2022 (+31 %). **Ainsi, le chiffre d'affaires des chefs de file a atteint des niveaux et des taux d'évolution sans précédents au cours des années 2021 et 2022.** Par rapport à la période précédant le programme Nano 2022 (soit l'année 2017), le chiffre d'affaires des chefs de file a augmenté de 86 %. Ces performances sont exceptionnelles : dans le même temps, la somme des chiffres d'affaires des entreprises produisant des semi-conducteurs au niveau mondial a augmenté de 39 %<sup>9</sup>, et celui des industries manufacturières françaises de 16 %.

<sup>8</sup> Entre 2010 et 2015 le chiffre d'affaires total du groupe STMicroelectronics est passé de 10,3 Md€ à 6,9 Md€, soit une baisse de 33 %. Il est croissant depuis 2016, et s'établit à 16,1 Md€ en 2022.

<sup>9</sup> Selon les données WSTS, bluebook data, août 2024.

Graphique 6 : Chiffre d'affaires total des bénéficiaires de Nano 2022



Source : FARE, calcul pôle sciences de données de l'IGF

Le CA total des entreprises partenaires du programme Nano 2022 a augmenté entre 2010 et 2022 pour passer de 6,3 à 7,6 Md€. Il n'a pas connu la baisse entre 2010 et 2014 comme le CA des chefs de file, et entre 2017 et 2022, le CA des partenaires fluctue entre 6,2 et 7,6 Md€ de manière non monotone.

### Encadré 3 : Le fichier FARE pour le suivi de l'activité des entreprises

La statistique structurelle annuelle d'entreprises issue du dispositif ESANE (fichier FARE) produite par l'Insee et la direction générale des finances publiques (DGFIP) contient les données individuelles structurelles des entreprises en France. Produite annuellement, elle permet d'identifier les principales données fiscales (comme le chiffre d'affaires, l'excédent brut d'exploitation, la valeur ajoutée) des chefs de file industriels et des entreprises partenaires du programme Nano 2022 sur la période 2010-2022 (dernière année disponible). Ces données permettent de dresser les indicateurs d'activité et de rentabilité sur une période dépassant celle du programme Nano 2022. Ainsi, la série démarre au milieu du programme Nano 2012 (2008-2012), inclut l'ensemble du programme Nano 2017 (2013-2017) et du programme Nano 2022 (2018-2022).

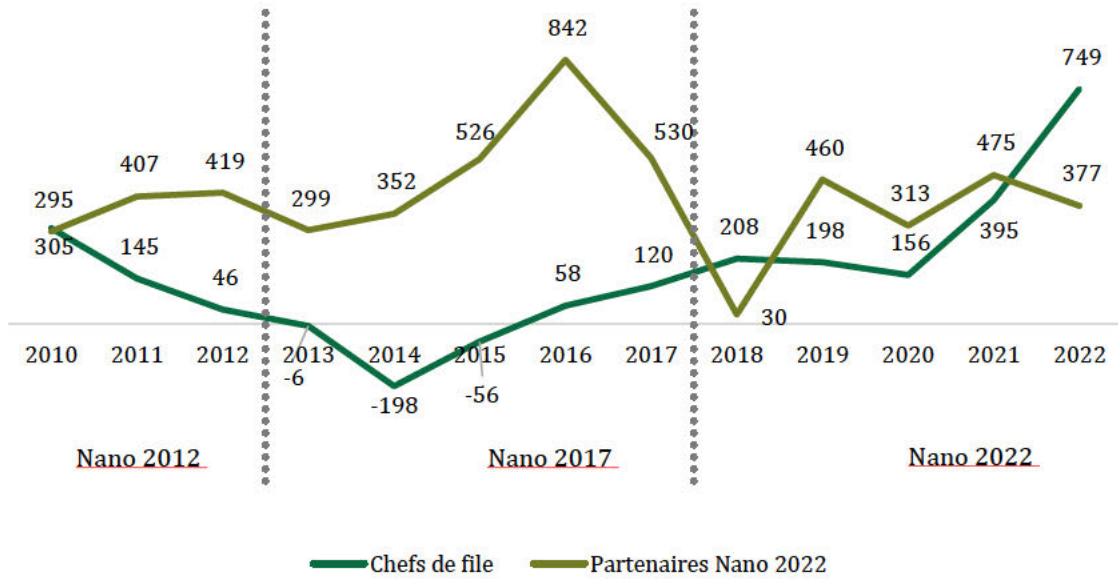
Source : Mission.

La diminution du CA des chefs de file entre 2010 et 2014 se reflète dans leur excédent brut d'exploitation (EBE) qui décroît jusqu'en 2014 où il s'établit à - 198 M€ (cf. graphique 7). Il augmente à nouveau en 2015 et est strictement croissant depuis, atteignant 749 M€ en 2022. Ainsi, **après une baisse entre 2010 et 2014, la somme annuelle des EBE des chefs de file du programme Nano 2022 est en augmentation continue depuis 2015, et est strictement positive depuis 2016.**

Les partenaires de Nano 2022 ne suivent pas cette dynamique : leur EBE est stable entre 2010 et 2013 autour de 350 M€, puis augmente pour atteindre 842 M€ en 2016. Après une nette baisse entre 2016 et 2018, **la somme des EBE des partenaires du programme Nano 2022 est stable à partir de 2019, autour de 400 M€.**

Annexe IV

Graphique 7 : Évolution de la somme de l'excédent brut d'exploitation (EBE) des bénéficiaires du programme Nano 2022

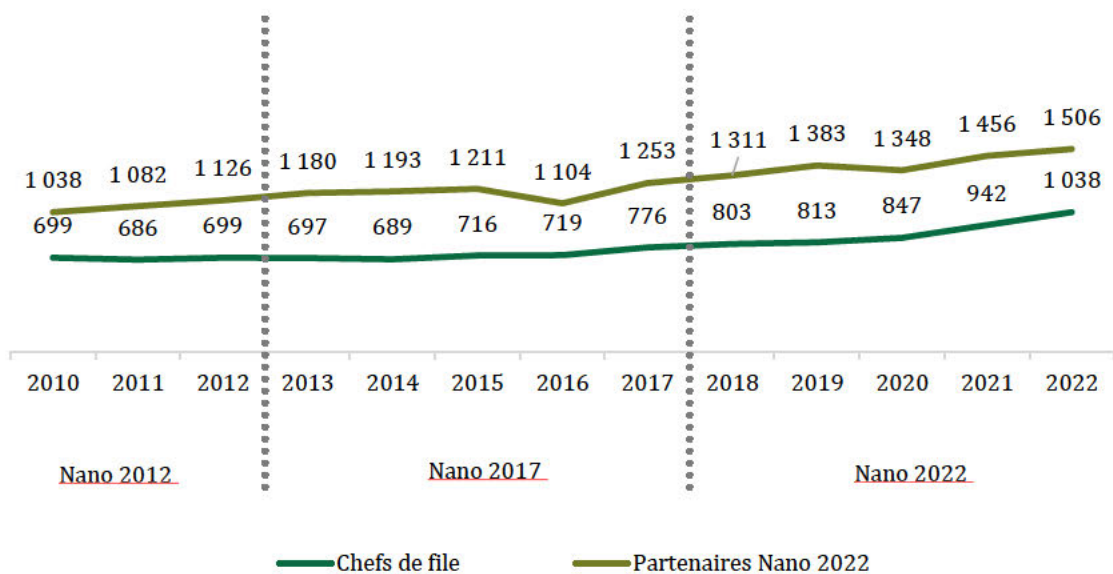


Source : FARE, calcul pôle sciences de données de l'IGF.

En 2022, la masse salariale des chefs de file est de 1,0 Md€, et celle des partenaires est de 1,5 Md€. La part de la masse salariale dans le chiffre d'affaires est comparable chez les chefs de file et les partenaires, à respectivement 17 % et 20 % en 2022.

La masse salariale des chefs de file est passée de 699 à 689 M€ entre 2010 et 2014 (cf. graphique 8). Elle est de nouveau croissante depuis 2015, et au total, a augmenté de 46 % entre 2010 et 2022.

Graphique 8 : Masse salariale des bénéficiaires du programme Nano 2022 (en M€)



Source : FARE, calcul pôle sciences de données de l'IGF

## Annexe IV

**La masse salariale des chefs de file a augmenté de 20 % entre 2017 et 2022, soit moins vite que l'augmentation du chiffre d'affaires.** En série longue, les données sur les effectifs montrent une **transformation de la composition des emplois depuis 2014 : entre 2014 et 2022, le nombre d'ETP de cadres et professions intellectuelles supérieures a augmenté de 48 %, alors que le nombre d'ETP d'ouvriers a diminué de 15 %.**

L'amélioration des indicateurs d'activité économique des chefs de file et des partenaires du programme depuis 2015 se retrouve dans les indicateurs de rentabilité :

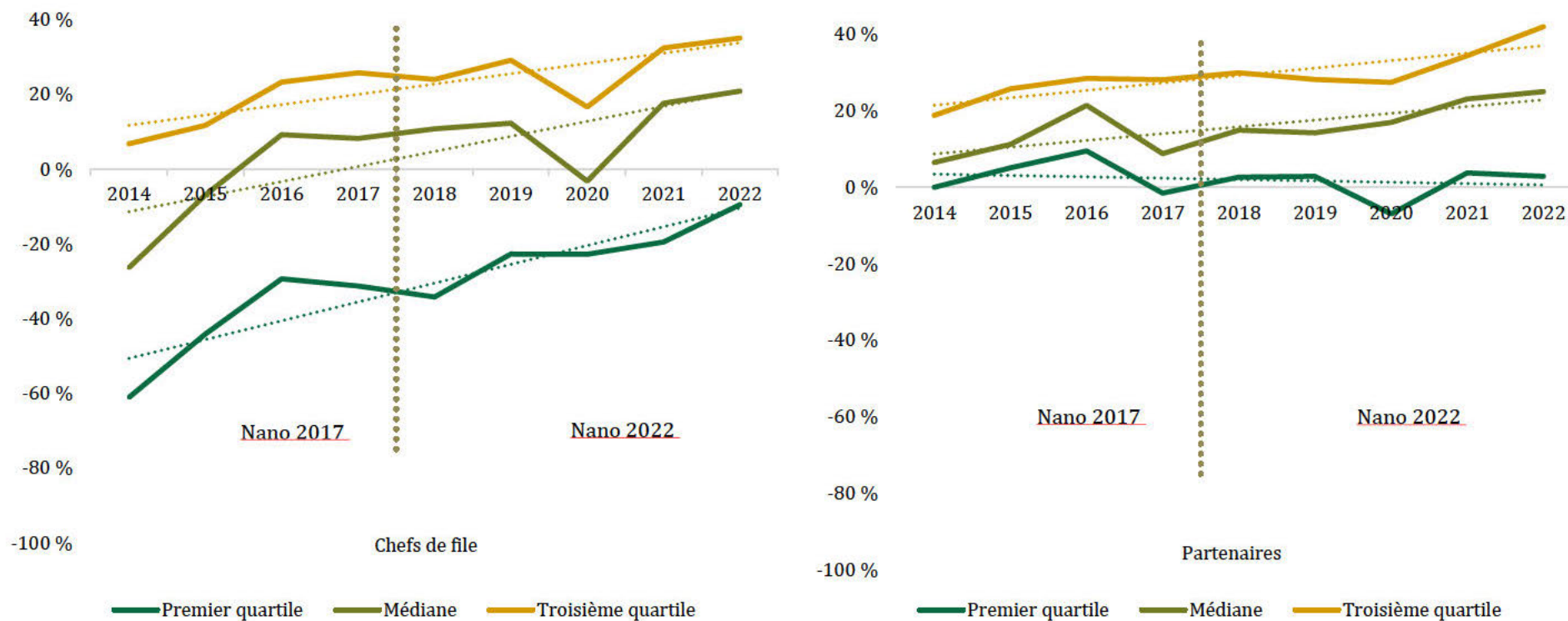
- ◆ le taux de marge (défini comme le rapport de l'EBE sur la valeur ajoutée) est calculable sur la période 2014-2022<sup>10</sup> (cf. graphique 9). Le taux de marge médian est en augmentation constante sur la période pour les chefs de file et les partenaires. L'augmentation est plus forte chez les chefs de file, qui en 2014 ont un taux de marge médian de - 26 % en 2014 et de + 18 % en 2022. Les partenaires ont un taux de marge médian positif sur toute la période. Les premiers et troisièmes quartiles des chefs de file croissent aussi continument sur la période : **le taux de marge des chefs de file a augmenté tout au long du déroulé des deux derniers programmes Nano.** Cette augmentation est moins marquée pour les partenaires ;
- ◆ **en 2022, le taux de marge médian des chefs de file est de 18 %, légèrement en dessous de celui des partenaires qui s'établit à 25 %.** Le troisième quartile du taux de marge est plus élevé chez les partenaires (42 %) que pour les chefs de file (35 %). Moins du quart des entreprises partenaires ont un taux de marge négatif, alors que 25 % des chefs de file ont un taux de marge inférieur à - 10 %.

---

<sup>10</sup> Les données de valeur ajoutée présentes dans FARE des chefs de file pour les années 2010 à 2013 contiennent des valeurs aberrantes qui ne permettent pas de calculer la distribution du taux de marge.

## Annexe IV

**Graphique 9 : Distribution du taux de marge (EBE/VA) chez les chefs de file et les partenaires du programme Nano 2022**



*Source : FARE, calcul pôle sciences de données de l'IGF*

Ainsi, la situation économique des chefs de file aidés par le programme Nano 2022, qui était en cours de redressement au moment de son lancement en 2018, a poursuivi son amélioration tout au long du programme. Les indicateurs d'activité et de rentabilité ont été peu impactés par la crise sanitaire de 2020, et semblent être repartis à la hausse immédiatement en 2021.

Les partenaires du programme Nano 2022 affichent des performances stables sur la période 2018-2022, alors qu'ils étaient en phase de croissance (pour les indicateurs analysés) sur la période 2010-2017.

**Il n'est cependant pas possible d'attribuer ces évolutions à l'effet de Nano 2022**, car l'analyse descriptive ne permet pas d'identifier les autres facteurs qui ont pu impacter la performance des acteurs aidés, comme notamment la conjoncture et les évolutions mondiales du secteur.

### **2.2.2. La contribution des projets du programme Nano 2022 au chiffre d'affaires total des chefs de file entre 2018 et 2022 varie entre 1 % et 24 % en fonction des entreprises**

La part de l'activité des bénéficiaires du programme Nano 2022 liée aux projets aidés n'est pas identifiable dans les données administratives disponibles en source ouverte ou par le centre d'accès sécurisé aux données (CASD). Ainsi, la mission a adressé un questionnaire aux chefs de file et aux partenaires du programme Nano 2022. Les réponses reçues permettent de présenter des résultats quasi-exhaustifs pour les chefs de file, et représentant la moitié des partenaires (cf. encadré 4).

#### **Encadré 4 : La collecte d'indicateurs par enquête auprès des bénéficiaires du programme Nano 2022**

La mission a adressé une enquête auprès des bénéficiaires du programme Nano 2022 (chefs de file et partenaires) visant à collecter des indicateurs sur la part de leur activité attribuable aux projets soutenus par le programme (chiffre d'affaires, valeur ajoutée, effectifs), sur les résultats scientifiques et techniques (publications, brevets, mise en production de nouveaux produits) et sur les différentes sources de financements publics reçus (État, collectivités territoriales, UE). Le questionnaire reprenait les principaux indicateurs collectés dans le cadre de l'évaluation intermédiaire réalisée par le cabinet Deloitte en 2022 (cf. annexe II), dans une version allégée.

La collecte des réponses a eu lieu entre le 17 octobre et le 6 décembre 2024. Le questionnaire a été envoyé aux six chefs de file industriels, au principal acteur académique (le CEA-Leti), aux 29 autres laboratoires de recherche publics et aux 33 entreprises commerciales partenaires qui ont encore une activité en 2024.

La mission a reçu 31 réponses exploitables, soit un taux de réponse de 43 %. Les laboratoires ont plus répondu que les entreprises (55 % de répondants contre 33 %).

**En termes de financements de l'État, les répondants représentent 96 % des aides accordées.**

Cinq des six chefs de file industriels ont répondu. L'entreprise cheffe de file non répondante n'avait pas répondu non plus au questionnaire de l'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022. Le CEA-Leti, principal acteur académique du programme, a répondu. Hors chefs de file (industriels et académique) le taux de réponse est de 41 %. **Ainsi, les résultats de l'enquête sont quasi-exhaustifs pour les chefs de file, et représentent un peu moins de la moitié des partenaires.**

*Source : Mission.*

En raison du retard pris lors du conventionnement, les partenaires du programme Nano ont démarré leurs projets à partir de fin 2019. Les indicateurs d'activité pour ceux-ci sont donc établis avec un décalage d'un an sur la période du programme, soit entre 2019 et 2023. Pour les chefs de file, les indicateurs sont calculés sur la période 2018-2022.

**Le chiffre d'affaires lié à Nano 2022<sup>11</sup> représente 1,9 % du chiffre d'affaires total des chefs de file industriels entre 2018 et 2022. Cette proportion va de 1 à 24 % en fonction des acteurs**, ce qui indique une importance du programme très différente chez les chefs de file. Sur la même période, le CAPEX lié à Nano varie entre 3 et 52 % du CAPEX total, ce qui suggère que l'effet d'entraînement des financements de Nano est plus important sur les dépenses d'investissement que sur le volume des ventes.

Les neuf entreprises partenaires du programme (hors chefs de file) qui ont répondu au questionnaire n'ont pas toutes pu estimer la part de leur chiffre d'affaires ni la part de leur valeur ajoutée qui est attribuable aux projets de Nano 2022. Seuls trois chefs de file (qui ont reçu 12 % de l'aide accordée par le programme) ont déclaré le montant de valeur ajoutée attribuable aux projets de Nano 2022. **Ainsi, depuis 2018, les projets du programme ont généré au moins 715,2 M€ de valeur ajoutée.** Cette somme est supérieure au total des subventions de l'État reçues par l'ensemble des bénéficiaires du programme, qui est de 627,7 M€ à la date de la mission<sup>12</sup> (hors prêt).

Depuis 2018, les répondants au questionnaire ont déclaré avoir employé 10 632 ETP liés à Nano. Les emplois liés au programme sont très qualifiés : **tous bénéficiaires confondus, les cadres et chercheurs représentent 92 % des ETP affectés aux projets financés par Nano 2022.**

Pour les chefs de file industriels, les effectifs liés à Nano 2022 représentent 16,4 % de la masse salariale entre 2018 et 2022, avec une faible dispersion (entre 10 et 18 %). Pour les entreprises partenaires (hors chefs de file), entre 2019 et 2023, les effectifs affectés aux projets financés par Nano 2022 représentaient en moyenne 3,8 % de la masse salariale, avec une variabilité importante entre entreprises (de 0,5 % à 17,2 %).

### **2.3. La valeur de la production des chefs de file a augmenté de 71 % entre 2017 et 2022, soit près de deux fois plus vite que la valeur du marché mondial des semi-conducteurs**

Les chefs de file industriels du programme Nano 2022 sont des producteurs de semi-conducteurs (cf. 1.1.1). Ils fabriquent aussi quatre autres types de produits qui ne figurent pas sur la liste SCAN (cf. tableau 3), mais qui sont des composants électroniques qui semblent correspondre à des semi-conducteurs. Les chefs de file ne produisent pas de plaquettes de silicium, sur lesquelles les puces sont gravées : l'intégralité de leur fabrication concerne des produits finis.

---

<sup>11</sup> Le chiffre d'affaires et la valeur ajoutée liée aux projets du programme Nano 2022 doivent être interprétés avec précaution : il s'agit de valeurs déclaratives récoltées par enquête auprès des bénéficiaires, et il est attendu que la commercialisation de certains produits développés dans le cadre des projets soutenus par Nano 2022 démarre plusieurs années après la fin du programme.

<sup>12</sup> Il s'agit ici de montants payés à la date de la mission.

## Annexe IV

**Tableau 3 : Produits fabriqués par les chefs de file entre 2017 et 2022**

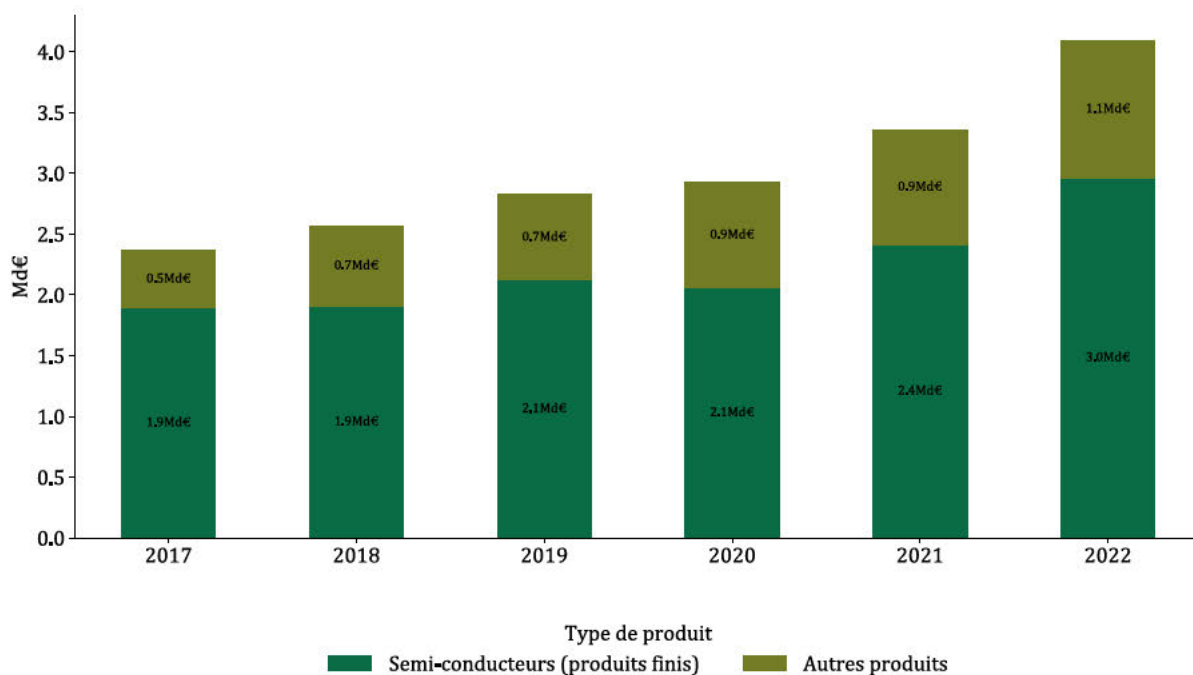
Code NC8	Intitulé	Présence dans la liste Commission Européenne
85411000	Diodes (sauf photodiodes et diodes émettrices de lumière "LED")	Oui
85412900	Transistors à pouvoir de dissipation $\geq 1$ W (autres que phototransistors)	Oui
85414200	Cellules photovoltaïques non assemblées en modules ni constituées en panneaux	Oui
85414300	Cellules photovoltaïques assemblées en modules ou constituées en panneaux	Oui
85414900	Dispositifs photosensibles à semi-conducteur (sauf machines génératrices et cellules photovoltaïques)	Oui
85423119	Autres circuits intégrés électroniques utilisés comme processeurs et contrôleurs (...)	Oui
85423190	Circuits intégrés électroniques utilisés comme processeurs et contrôleurs, même combinés avec des mémoires (...)	Oui
85423261	Circuits intégrés électroniques utilisés comme mémoires à lecture exclusivement, effaçables électriquement, programmables «flash E <sup>2</sup> PROMs», d'une capacité de mémoire $\leq 512$ Mbits (...)	Oui
85423269	Circuits intégrés électroniques utilisés comme mémoires à lecture exclusivement, effaçables électriquement, programmables «flash E <sup>2</sup> PROMs», d'une capacité de mémoire $> 512$ Mbits (...)	Oui
85423275	Circuits intégrés électroniques utilisés comme mémoires à lecture exclusivement, effaçables électriquement, programmables «E <sup>2</sup> PROMs» (...)	Oui
85423290	Mémoires sous formes multicombinatoires (...)	Oui
85423310	Circuits intégrés électroniques à composants multiples utilisés comme amplificateurs (...)	Oui
85423390	Autres circuits intégrés électroniques utilisés comme amplificateurs (...)	Oui
85423911	Circuits intégrés électroniques à composants multiples (...)	Oui
85423919	Circuits intégrés électroniques sous forme de circuits intégrés à puces multiples constitués d'au moins deux circuits intégrés monolithiques interconnectés (...)	Oui
85423990	Circuits intégrés électroniques (...)	Oui
85415000	Transducteurs à semi-conducteurs (sauf photosensibles)	Non
85413000	Thyristors, diacs et triacs (autres que les dispositifs photosensibles)	Non
Pas d'équivalent NC8 – code PRODFRA 26111900H0	Montage ou assemblage à façon de circuits intégrés électroniques	Non
Pas d'équivalent NC8 – code PRODFRA 26129110H0	Micro-assemblages sur circuits imprimés	Non

Source : Enquête annuelle de production, nomenclature PRODFRA – NC8

## Annexe IV

La production totale des chefs de file du programme Nano 2022 s'élève à 4,1 Md€ en 2022, en augmentation de 71 % depuis 2017 (cf. graphique 10). Ainsi, la valeur de la production a augmenté un peu moins vite que le chiffre d'affaires total, qui a cru de 86 % sur la même période (cf. 2.2.1). Ces augmentations sont près de deux fois plus rapides que le marché mondial des semi-conducteurs. Cependant, ces bonnes performances devront être confirmées sur le temps long : en effet, il est possible qu'une partie de ces hausses soit due à un rattrapage suite aux difficultés connues jusqu'en 2015 et de l'explosion ponctuelle de la demande de l'industrie automobile post-crise sanitaire.

Graphique 10 : Production totale des chefs de file Nano 2022



Source : Insee – Enquête Annuelle de Production

Les entreprises cheffes de file du programme Nano 2022 importent des produits nécessaires à leur production depuis l'Union européenne et le reste du monde. Les données douanières permettent d'identifier les produits importés, leur origine et leur entreprise bénéficiaire, avec quelques réserves méthodologiques concernant notamment le pays d'origine (cf. encadré 5).

Les produits importés par les chefs de file du programme Nano 2022 sont :

- ◆ des plaquettes de silicium, qui constituent le matériau initial sur lequel les puces sont gravées ;
- ◆ des autres intrants nécessaires au traitement des plaquettes ou à l'activité de fonderie ;
- ◆ des équipements de fonderie (comme les machines de gravure ou de dépôt de matériau) ;
- ◆ des semi-conducteurs sous la forme de produits finis ;
- ◆ d'autres produits finis.

**Encadré 5 : Données de commerce international DOU-ENQ**

Les données de douane au niveau entreprise et produit sont disponibles sur le CASD pour les importations intra-européennes et extra-européennes. Deux procédures alimentent ces données :

- la déclaration d'échange de biens (DEB) concerne le trafic intra-européen depuis la création du marché unique en 1993 jusqu'au 31 décembre 2021. À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2022, cette déclaration est remplacée par une enquête statistique mensuelle sur les échanges de biens intra-Union européenne (EMEBI) ;
- le document administratif unique (DAU) est un formulaire rempli par les entreprises réalisant des exportations ou importations qui franchissent la frontière de l'Union Européenne. Cette déclaration est dématérialisée depuis 2021.

Les **données d'importations intra-européennes** sont collectées à des fins statistiques, et non fiscales. Elles ne sont donc pas exhaustives. La valeur déclarée inclut le prix du bien ainsi que celui du transport, mais ne comprend pas la TVA. Les entreprises totalisant pour l'année passée ou en cours un montant d'importation inférieur à 460 000 € sont dispensées de déclaration et n'apparaissent donc pas dans les données disponibles. Ces importateurs contribuent cependant très peu au montant total des imports en France<sup>13</sup>.

Les données d'exportations ne sont **pas directement comparables** aux données d'importation. En effet, les valeurs des biens importés sont exprimées avec le prix du transport (*cost insurance and freight, CIF*) et les valeurs des biens exportés sont exprimées sans frais de transport et d'assurance (*free on board, FOB*)

Une limite de ces bases de données est la prise en compte du transit. En effet, on trouve deux variables d'origine, PYOD et PAYP. La première, PYOD, constitue le pays d'origine de la marchandise, tandis que la variable PAYP est celle du dernier pays où le bien a transité avant la France. Dans les données d'imports intra-européens on trouve ainsi un grand nombre de déclarations de biens dont le dernier pays de transit est la Belgique ou les Pays-Bas, alors que leur pays d'origine correspond aux États-Unis ou à la Chine. La qualité de cette variable n'est pas garantie. Ainsi les imports extra-européens reconstitués à l'aide de cette variable représentent une borne inférieure des imports réels totaux.

*Source : Pôle sciences des données de l'IGF.*

Les importations totales des chefs de file suivent leur santé économique, avec une forte baisse entre 2010 et 2014, suivi d'une reprise ininterrompue depuis 2015 (cf. graphique 11) :

- ◆ les plaquettes en silicium pur ne sont pas produites sur le territoire national. Or, elles constituent le matériau principal pour l'ajout d'un substrat avancé (SOITEC) et pour la fonderie (STMicroelectronics, X-Fab). Les importations de plaquettes ont été multipliées par deux entre 2015 et 2021. Elles représentent la majorité des importations en montant en 2021 (360 M€) ;
- ◆ les machines-outils nécessaires à la production de semi-conducteurs sont fabriquées à l'étranger. L'importation de ces équipements a connu une forte baisse lors des difficultés financières connues par les chefs de file jusqu'en 2015, avant de revenir à un niveau supérieur à 100 M€ par an depuis 2018 ;
- ◆ l'importation de produits finis à base de semi-conducteurs par les chefs de file s'établit de manière stable autour de 150 M€ depuis 2012, à l'exception de la contraction connue en 2020 (109 M€) suivie d'une forte hausse en 2021 (241 M€). Sans données pour les années ultérieures, il n'est pas possible d'identifier si cette accélération se poursuit ou s'il s'agissait d'un rattrapage ponctuel post-crise sanitaire, afin de répondre aux besoins accrus de l'industrie automobile (cf. encadré 2) ;

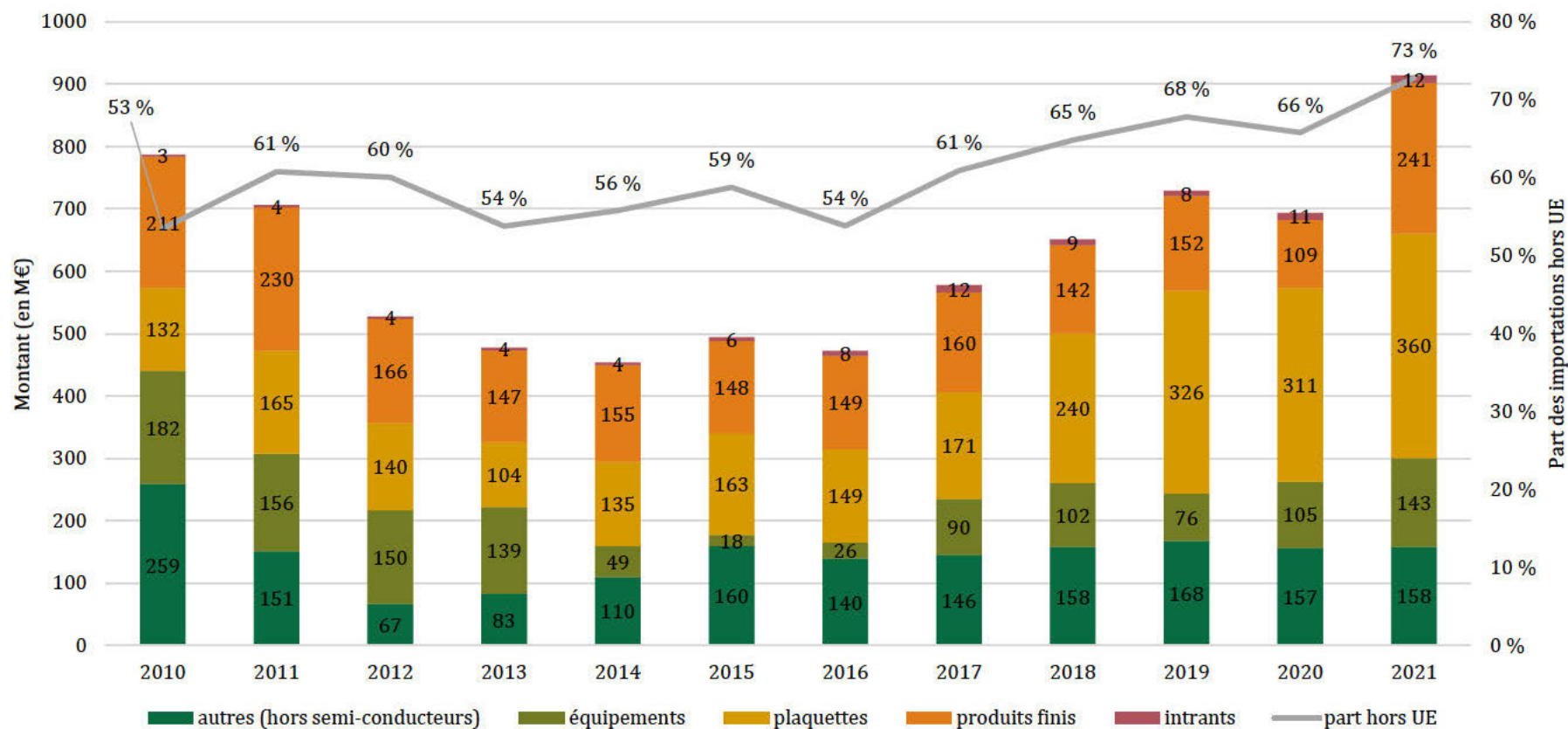
<sup>13</sup> Bergounhon, F., Lenoir, C., & Mejean, I. (2018). A guideline to French firm-level trade data

#### Annexe IV

- ◆ les autres intrants (hors plaquettes) représentent une part marginale des importations, autour de 1 % de leur valeur totale ;
- ◆ l'importation d'autres produits finis est stable sur la période du programme Nano 2022, autour de 150 M€ par an.

## Annexe IV

### Graphique 11 : Importations des chefs de file du programme Nano 2022



Source : DGDDI, DOU-ENQ, calculs pôle sciences des données de l'IGF.

## Annexe IV

La part des importations qui viennent de l'extérieur de l'Union européenne (UE) était stable entre 2010 et 2015, et est en augmentation continue depuis 2016, passant de 54 % à 73 % en 2021. Cette hausse est principalement attribuable à l'augmentation des importations de plaquettes, dont le Japon est le premier fournisseur. Il est difficile de conclure quant à l'évolution de la vulnérabilité des chefs de file liée à leurs besoins d'importations, cependant, **ces données agrégées montrent que les chefs de file du programme Nano 2022 n'ont pas modifié leur volume d'importations durant le programme ni leur répartition entre fournisseurs dans et hors de l'UE**, à l'exception du quasi-doublement des montants de plaquettes, qui viennent d'un pays hors UE qui ne fait pas l'objet de tensions géopolitiques ou commerciales

L'analyse détaillée de l'évolution de la dépendance de l'ensemble du secteur électronique français aux importations est réalisée dans l'annexe V.

Il n'est pas possible d'isoler les exportations des chefs de file dans la base de données des douanes. En effet, une grande partie des exportations passe par des distributeurs, basés à l'étranger et immatriculés en France. Les transactions ayant lieu sur le sol français, il n'y en a pas trace dans la base des douanes. **L'activité d'exportation des chefs de file peut être approchée par la part du chiffre d'affaires qu'ils réalisent à l'étranger**. D'après l'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022, 96 % du chiffre d'affaires réalisé par les chefs de file grâce aux projets du programme est réalisé à l'export. Cette part importante peut être expliquée par la fragmentation de la chaîne de production des semi-conducteurs : notamment, les activités d'assemblage et de test des puces sont réalisés en Asie du Sud-Est (cf. annexe III). Ainsi, les puces produites par les usines de STMicroelectronics à Crolles sont toutes envoyées dans des usines asiatiques pour ces dernières étapes de production.

### **3. Le programme Nano 2022 a soutenu les actions de recherche et développement des bénéficiaires et la mise en place de premières industrialisations, mais avec un effet levier inexistant**

#### **3.1. L'activité d'innovation des chefs de file est stable depuis 2010**

##### **3.1.1. L'activité d'innovation des chefs de file depuis 2010 se caractérise par une stabilité du nombre de brevets déposés en France et des effectifs de R&D, et par une augmentation du salaire médian**

###### **3.1.1.1. Le CEA-Leti, STMicroelectronics et Soitec font partie des 50 principaux déposants de brevets à l'INPI pour une protection nationale**

Le palmarès national publié par l'Institut national de la propriété intellectuelle (INPI) comptabilise les demandes de brevets déposées auprès de cet institut pour une protection nationale. Les demandes par voie nationale concernent soit des premiers dépôts de brevets, soit des dépôts qui concernent une innovation déjà brevetée dans un autre territoire (dites « sous priorité étrangère »). En revanche, les demandes européennes ou les demandes déposées auprès de l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle visant une protection sur le territoire français, et émanant d'acteurs établis hors de France, ne sont pas prises en compte (cf. encadré 6).

Le palmarès des principaux déposants de brevets à l'INPI porte sur le nombre de demandes de brevets publiées pendant l'année de référence, donc déposées 18 mois avant. Le palmarès porte sur les personnes morales.

### Encadré 6 : La protection de la propriété intellectuelle en France et en Europe

Tout inventeur peut protéger son invention par un brevet national ou un brevet européen.

Le brevet national est déposé auprès de l'institut national de la propriété intellectuelle (INPI). Il permet d'obtenir un **monopole d'exploitation sur le territoire français** pour une durée maximale de 20 ans, en contrepartie du paiement d'annuités.

Le brevet européen est déposé auprès de l'organisation européenne des brevets (OEB). Par défaut, il est valable uniquement dans le pays dont l'inventeur est le ressortissant. **L'inventeur doit le faire valider dans chaque territoire où il souhaite bénéficier d'une protection, selon une procédure uniforme applicable dans 45 pays<sup>14</sup>**. Depuis le 1<sup>er</sup> juin 2023, le brevet unitaire européen permet de protéger une invention dans 17 États membres de l'Union européenne sans avoir à recourir à des validations nationales. Les pays participants sont l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, le Danemark, l'Estonie, la Finlande, la France, l'Italie, la Lettonie, la Lituanie, le Luxembourg, Malte, les Pays-Bas, le Portugal, la Slovénie et la Suède. D'autres pays devraient rejoindre ce dispositif par la suite. Pour une extension mondiale, l'inventeur doit réaliser une demande internationale unique auprès de l'organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI). **Les personnes et entreprises françaises ont toutefois l'obligation de faire d'abord un dépôt à l'INPI avant d'étendre la protection à l'étranger.**

En effet selon les articles 410- 1, 411-6 et 411-7 du code pénal : toute personne morale ou individuelle française se doit de ne pas communiquer ou divulguer d'information de nature à porter atteinte aux intérêts fondamentaux de la nation.

Du fait que le dépôt d'une demande de brevet auprès de tout office de propriété industrielle, entraîne mécaniquement la publication de l'invention décrite dans le brevet, un tel dépôt par un déposant, qui a son siège ou l'adresse de son domicile social en France, est alors encadré afin que le déposant ne contrevienne pas aux obligations mentionnées dans le code pénal.

En particulier, la restriction à la libre divulgation ou exploitation des inventions entraîne une obligation d'effectuer un premier dépôt auprès de l'office français :

- situation 1 : articles L. 612-8 à L. 612- 10 du code de la propriété intellectuelle (CPI) pour une protection nationale : réception de la demande par l'INPI, examen par la défense nationale, traitement de la demande par l'INPI ;
- situation 2 : article L. 614-2 du CPI pour une protection par le brevet européen :réception de la demande par l'INPI, examen par la défense nationale, traitement de la demande par l'OEB ;
- situation 3 : article L. 614- 18 du CPI pour une protection internationale : réception de la demande par l'INPI, examen par la défense nationale, traitement de la demande par l' Organisation mondiale de la propriété intellectuelle en lien avec l'INPI, puis par l'OEB.

Une entreprise peut avoir un siège social domicilié en dehors du territoire français, et des inventions de cette entreprise peuvent émaner d'unités localisées en France ou des inventeurs français peuvent avoir contribué à l'invention. De ce fait, les dispositions restrictives s'apprécient sur la base de plusieurs paramètres dont :

- le siège social ou le domicile du déposant ;
- l'apport à l'invention d'un inventeur français à l'étranger ;
- l'apport à l'invention d'un inventeur étranger en France.

Les chefs de file du programme Nano 2022 sont majoritairement des entreprises multinationales. Ainsi, l'appréciation de l'obligation de dépôt préalable à l'INPI est réalisée au cas par cas, en fonction des paramètres ci-dessus. L'identification exhaustive des brevets déposés par ces entreprises et de ceux relevant de leur activité en France nécessite donc de croiser les bases de données françaises, européennes et mondiales et de traiter les doublons éventuels, ce que la mission n'a pas été en mesure de réaliser.

<sup>14</sup> Les pays concernés sont l'Albanie, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, la Suisse, Chypre, la République tchèque, l'Allemagne, le Danemark, l'Estonie, l'Espagne, la Finlande, la France, le Royaume-Uni, la Grèce, la Croatie, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Liechtenstein, la Lituanie, le Luxembourg, la Lettonie, Monaco, le Monténégro, la Macédoine du Nord, Malte, les Pays-Bas, la Norvège, la Pologne, le Portugal, la Roumanie, la Serbie, la Suède, la Slovénie, la Slovaquie, Saint-Marin, la Turquie.

## Annexe IV

La mission a analysé l'activité de dépôt de brevets à partir du palmarès annuel des déposants publié par l'INPI, qui se fonde sur le nombre de demandes de brevet déposés auprès de cette institution pour une protection nationale sur le territoire français (situation 1 ci-dessus).

Ce palmarès ne prend pas en compte les demandes effectuées auprès de l'INPI pour une protection par le brevet européen (situation 2) ou pour une protection internationale traitées (situation 3). Il ne prend pas non plus en compte les premiers dépôts que ces entreprises auraient pu effectuer auprès d'autres offices nationaux. Ainsi, le nombre de brevets présentés dans ce palmarès est une estimation minimale de l'activité de dépôt des institutions concernées. Sous l'hypothèse de pratiques stables de dépôt, ces données permettent d'analyser la dynamique d'innovation par le dépôt de brevet, mais pas de rapporter le nombre de brevets liés à Nano au nombre total de brevets.

*Source : Mission d'après l'INPI*

Le CEA, STMicroelectronics et Soitec apparaissent dans le top 50 des principaux déposants de brevets à l'INPI en 2022 (cf. tableau 4) :

- ◆ **le CEA est la première institution publique française de ce classement, où il apparait à la 3<sup>ème</sup> place en 2022.** L'institution est présente de manière stable dans ce classement, où elle occupe la 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> place tous les ans depuis 2013. Le classement ne permet cependant pas d'isoler les brevets émanant de l'activité du CEA-Leti ;
- ◆ STMicroelectronics est à la 13<sup>ème</sup> place en 2022. L'entreprise était déjà 13<sup>ème</sup> de ce classement en 2011. Elle a perdu quelques places au milieu des années 2010 pour atteindre la 16<sup>ème</sup> place en 2015 et 2016 (ces années concernent les brevets déposés 18 mois avant, soit durant les difficultés économiques de l'entreprise, cf. 2.2.1). **STMicroelectronics oscille entre la 12<sup>ème</sup> et la 14<sup>ème</sup> place de ce classement depuis 2017 ;**
- ◆ Soitec apparait dans le classement des 50 principaux déposants de brevets à l'INPI en 2017. **La position de Soitec s'est améliorée de manière régulière de la 46<sup>ème</sup> place en 2017 à la 35<sup>ème</sup> place en 2022<sup>15</sup>.** Le nombre de brevets déposés par Soitec est cependant resté stable entre 2017 et 2022, autour de 32 par an. En 2022, Soitec est la deuxième ETI de ce classement.

**Tableau 4 : Demandes de brevets publiés à l'institut national de propriété intellectuelle (INPI) pour une protection nationale**

Année	CEA		STMicroelectronics		SOITEC	
	Nombre de brevets	Rang de l'institution	Nombre de brevets	Rang de l'institution	Nombre de brevets	Rang de l'institution
2011	545	3	169	13	-	> 50
2012	566	2	255	12	-	> 50
2013	625	3	221	12	-	> 50
2014	643	3	161	14	-	> 50
2015	658	4	144	16	-	> 50
2016	684	4	129	16	< 29	70
2017	684	4	154	14	31	46
2018	674	4	168	13	29	46
2019	659	4	193	12	35	39
2020	646	4	211	13	30	48
2021	630	4	186	14	34	40
2022	672	3	198	13	30	35

*Source : INPI*

<sup>15</sup> À l'exception d'un recul ponctuel à la 48<sup>ème</sup> place en 2020, sur les brevets déposés entre mi-2018 et mi-2019.

Les autres chefs de file industriels du programme Nano 2022 n'apparaissent pas dans ce top 50. Les autres chefs de file sont des entreprises de plus petite taille. Les filiales d'entreprises étrangères peuvent être soumises aux pratiques de protection de la propriété intellectuelle du groupe, qui ne revendiquent peut-être pas la priorité française : par exemple, Murata Integrated Passive Solutions a déposé douze brevets à l'INPI entre sa création en 2009 et 2015, et aucun depuis son intégration au groupe Murata en 2016. L'entreprise UMS n'a pas déposé de brevet à l'INPI ou à l'OEB depuis 2017.

### 3.1.1.2. Sur la période du programme Nano 2022, l'emploi de cadres hors postes de R&D par les chefs de file a progressé plus vite que l'emploi d'ingénieurs de R&D.

En 2022, les chefs de file emploient 4 943 ETP d'ingénieurs de R&D, ce qui représente 31 % de leurs effectifs. Le nombre d'ETP d'ingénieurs de R&D a augmenté de 739 ETP entre 2017 et 2022<sup>16</sup>. Cependant, les effectifs de R&D ont augmenté moins vite que les autres catégories d'emploi : entre 2017 et 2022 les effectifs de R&D ont augmenté de 18 %, les cadres supérieurs non affectés à des postes de R&D ont augmenté de 33 %, et l'emploi total de 20 %. **Les cadres non affectés à des postes de R&D composent la catégorie d'emploi dont l'effectif a le plus augmenté chez les chefs de file pendant le programme Nano 2022**, faisant diminuer la part des cadres sur des postes de R&D de 61 % à 58 %.

#### Encadré 7 : L'identification des effectifs en R&D

La déclaration annuelle de données sociales (DADS) est une formalité déclarative que doit accomplir toute entreprise employant des salariés. Pour chaque salarié l'employeur doit déclarer la nature de l'emploi et la qualification, les dates de début et de fin de période de paie, le nombre d'heures salariées, la condition d'emploi (temps complet, temps partiel), le montant des rémunérations versées, etc. La profession est codée sur quatre caractères à partir de la nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles (PCS) de 2003. La catégorie 38 de la section de la PCS dédiée aux cadres et professions intellectuelles supérieures décrit les ingénieurs et cadres techniques d'entreprise. Au sein de cette catégorie, la mission a retenu les sous-catégories suivantes pour les personnels en recherche et développement employés dans le secteur des semi-conducteurs :

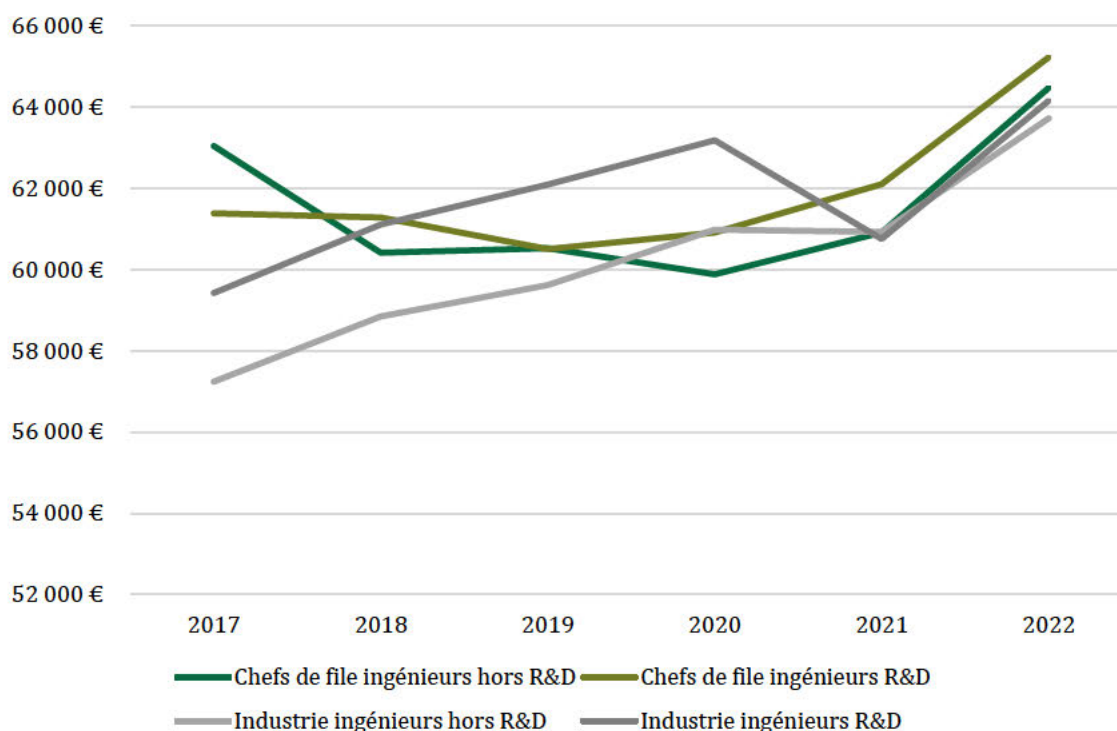
- 383A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en électricité, électronique ;
- 384A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en mécanique et travail des métaux ;
- 385A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement des industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie, matériaux lourds) ;
- 386B : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement de la distribution d'énergie, eau ;
- 388A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en informatique.

*Source : Mission d'après l'Insee.*

En 2022, le salaire brut annuel médian des ingénieurs de R&D des chefs de file est de 65 231 €, et est légèrement supérieur à celui des autres ingénieurs employés par les chefs de file qui est de 64 479 € (cf. graphique 12). Il est aussi légèrement supérieur au salaire médian des ingénieurs de R&D de l'ensemble de l'industrie manufacturière, qui est de 64 161 € la même année.

<sup>16</sup> Les données relatives aux emplois de R&D ne sont interprétables qu'à partir de 2017, car il y a eu un changement brutal de la composition de l'emploi d'une des unités légales de STMicroelectronics en 2016 (+ 1000 R&D et - 500 employés en un an) qu'on ne sait pas expliquer.

Graphique 12 : Evolution de la médiane du salaire annuel brut (en €)



Source : DADS, calcul pôle sciences de données de l'IGF. Champ : PCS 38

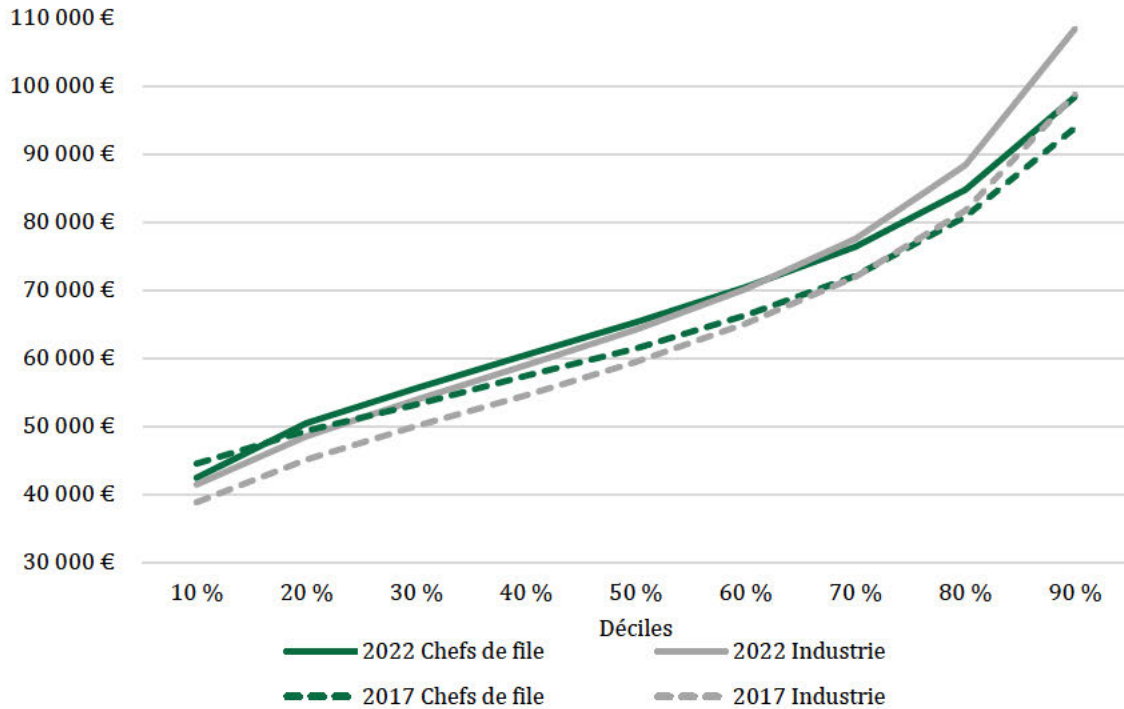
Les chefs de file ont indiqué lors des entretiens conduits dans le cadre de l'évaluation intermédiaire du programme Nano 2022 qu'ils faisaient face à des difficultés de recrutement pour les postes de R&D en raison d'un faible vivier, et qu'ils avaient dû augmenter les salaires proposés de façon importante pour être attractifs.

Ce phénomène ne se reflète pas dans l'évolution du salaire médian par comparaison à celui de l'ensemble de l'industrie manufacturière : entre 2017 et 2022, le salaire médian des ingénieurs de R&D des chefs de file a augmenté de 6 %, alors que celui des ingénieurs de R&D de l'ensemble de l'industrie a cru de 8 %. Ainsi, cette évolution a réduit la différence entre les salaires médians des ingénieurs de R&D des deux secteurs, qui passe de 1 964 € à 1 069 €, toujours en faveur des chefs de file.

Par ailleurs, ces taux d'évolution des salaires médians sont inférieurs à l'inflation qui est de 12 % sur la même période. La distribution des salaires bruts des ingénieurs de R&D (graphique 13) montre qu'en 2017 les salaires étaient globalement plus élevés chez les chefs de file avec des écarts allant jusqu'à 3 000 €. Seuls les 10 % des ingénieurs recevant les plus hautes rémunérations sont mieux payés dans l'industrie manufacturière que chez les chefs de file, avec un écart de 4 947 € par an. En 2022, les ingénieurs de R&D chez les chefs de file continuent de percevoir des rémunérations supérieures à celles observées dans l'ensemble de l'industrie, mais l'écart dans le bas de la distribution s'est resserré et n'est plus que de 1 000 € au maximum. Par ailleurs, en 2022, une inversion est constatée plus haut dans la distribution : à partir des 30 % des ingénieurs les mieux rémunérés, les salaires sont plus élevés dans l'ensemble de l'industrie manufacturière que chez les chefs de file. Ainsi, **l'augmentation des salaires des ingénieurs de R&D entre 2017 et 2022 a été moins dynamique chez les chefs de file que dans l'ensemble de l'industrie, au détriment des ingénieurs recevant les rémunérations les plus élevées.**

Ainsi, la dynamique d'évolution des salaires des ingénieurs de R&D employés par les chefs de file ne met pas en évidence la présence d'une hausse notable des salaires pendant le programme Nano 2022 qui aurait été rendue nécessaire pour pallier un manque d'attractivité des postes de R&D du secteur.

Graphique 13 : Distribution des salaires annuels bruts des ingénieurs de R&D



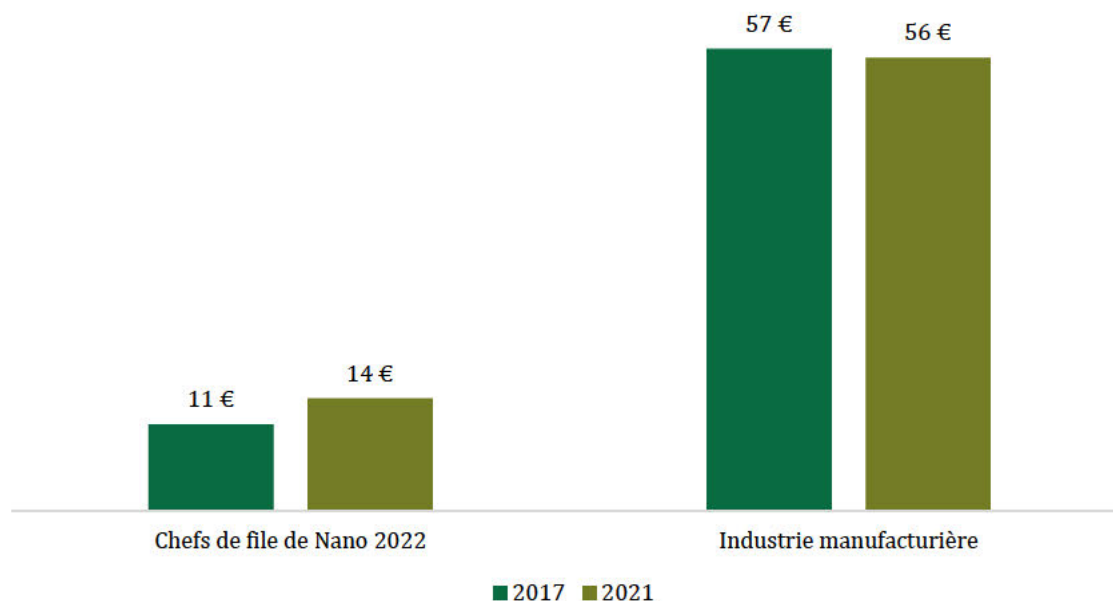
Source : DADS, calcul pôle sciences de données de l'IGF.

Les dépenses de R&D ne sont pas identifiables directement dans les données administratives. Elles peuvent être collectées par enquête auprès des chefs de file, mais dans ce cas, il s'agit de données déclaratives. La mission a choisi de les approcher par le montant de crédit impôt recherche (CIR) perçu par les entreprises du programme Nano 2022.

Le montant de CIR (dit « créance ») perçu par les chefs de file représente 3 % de la créance totale de l'industrie manufacturière en 2021 (dernière année disponible)<sup>17</sup>. **Durant le programme Nano 2022 la dynamique du CIR des chefs de file est similaire à celle de l'ensemble de l'industrie**, car cette part est la même qu'en 2017. Rapporté à la valeur ajoutée produite, les chefs de file perçoivent un montant de CIR quatre fois plus grand que l'ensemble de l'industrie manufacturière. Entre 2017 et 2022, le montant de valeur ajoutée pour un euro de créance de CIR augmente pour les chefs de file du programme Nano 2022 et passe de 11 à 14€, alors qu'il diminue légèrement pour l'ensemble de l'industrie manufacturière, de 57 à 56 €.

<sup>17</sup> MESRI-DGRI-Sittar, GECIR juin 2021 (données définitives) pour l'année 2017 et MESRI-DGRI-Sittar, juin 2023 (données 2021 provisoires) pour l'année 2021

Graphique 14 : Montant de valeur ajoutée pour un euro de créance de CIR



Source : MESRI-DGRI-Sittar, FARE, calculs mission.

### 3.1.2. Les projets soutenus par le programme Nano 2022 ont entraîné le dépôt de 1 486 brevets et la publication de 1 062 articles scientifiques

Les chefs de file et partenaires répondants au questionnaire adressé par la mission (cf. encadré 4) ont déclaré qu'ils avaient déposé 1 486 brevets et publié 1 062 articles scientifiques issus des projets soutenus par le programme Nano 2022 depuis 2018 (cf. tableau 5).

Tableau 5 : Nombre de brevets et de publications scientifiques issus du programme Nano 2022

Bénéficiaires	Nombre de brevets	Nombre de publications dans des revues à comité de lecture
Chefs de file industriels	1 166	335
Partenaires (dont le CEA-Leti)	320	727
<b>Total</b>	<b>1 486</b>	<b>1 062</b>

Source : Mission d'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires du programme Nano 2022.

La moitié seulement des partenaires ont répondu au questionnaire, ainsi ces chiffres constituent des minimums. Selon les réponses au questionnaire, les chefs de file industriels ont déposé 78 % des brevets et 31 % des articles scientifiques issus des projets soutenus par le programme.

**Ainsi, les chefs de file industriels ont déposé la grande majorité des brevets liés à Nano 2022. A l'inverse, les publications scientifiques ont majoritairement été réalisées par les partenaires.**

Le volume de publications scientifiques issues de Nano est très petit par comparaison au nombre de publications dans le domaine des semi-conducteurs au niveau mondial. En effet, en 2023, 28 730 publications contenant le mot « *semiconductor* » dans le titre, le résumé ou les mots clés étaient recensées dans la base de données *web of science*. Cependant, uniquement une étude bibliométrique détaillée réalisée par des experts de ce domaine scientifique permettrait d'évaluer l'apport de Nano 2022 au corpus mondial, car il est nécessaire de déterminer le champ disciplinaire précis des projets du programme, et la qualité de chaque publication réalisée.

### **3.2. Les projets du programme Nano 2022 ont conduit au développement de 66 produits en partenariat entre acteurs privés et publics, et ont largement contribué à l'activité du CEA-Leti**

#### **3.2.1. Le programme Nano a soutenu les investissements des industriels dans la recherche et le développement pour des montants deux fois inférieurs à la créance obtenue au titre du crédit impôt recherche (CIR)**

L'extraction de FARE donne le chiffre d'affaires total entre 2018 et 2022 des six chefs de file industriels. Lors des entretiens conduits par la mission, les acteurs ont indiqué qu'entre 10 et 15 % de leur chiffre d'affaires était investi dans la R&D, soit entre 2,2 et 3,3 Md€. Toutes sources de financement confondues (État, collectivités territoriales, UE), les subventions accordées aux chefs de file industriels s'élèvent à 461,3 M€ (cf. annexe I). Ainsi, **le programme Nano 2022 représente entre 14 et 21 % des sommes investies par les chefs de file dans la R&D<sup>18</sup>.**

Par ailleurs, ces entreprises sont aussi aidées par un dispositif horizontal de soutien à la R&D, le crédit impôt recherche (CIR), présenté dans l'encadré 8. **Depuis 2018, les chefs de file répondants ont déclaré avoir bénéficié de 810,2 M€ de CIR, soit 2,2 fois les montants perçus au titre de Nano 2022. Les entreprises partenaires du programme ont une créance de CIR égale à 22,4 fois les montants touchés au titre de Nano 2022.**

#### **Encadré 8 : Le crédit impôt recherche (CIR)**

Le CIR est accessible à toute entreprise industrielle, commerciale, et agricole, quelle que soit sa taille et sa forme juridique, à condition d'être soit soumise à un régime réel (normal ou simplifié) de l'impôt sur les sociétés (IS) ou de l'impôt sur le revenu, soit d'être exonérée d'impôt et de correspondre à l'une des catégories suivantes :

- jeune entreprise innovante (JEI) ;
- entreprise créée pour la reprise d'une entreprise en difficulté ;
- entreprise située dans certaines zones comme les zones de développement prioritaire ou de revitalisation rurale.

<sup>18</sup> Les subventions allouées aux chefs de file incluent les aides à destination de la FID. Ici, on fait l'hypothèse que les budgets de FID sont des dépenses d'innovation assimilables aux investissements dans la R&D.

## Annexe IV

Les activités de recherche fondamentale, de recherche appliquée et de développement expérimental sont éligibles à ce crédit d'impôt recherche. Les dépenses pouvant donner droit au CIR sont les dépenses d'amortissement, de personnel affecté à la recherche, de salaires et de charges sociales et des frais liés à la recherche. En métropole, le taux est de 30 % pour la partie des dépenses inférieure ou égale à 100 millions d'euros, et de 5 % au-delà. Le crédit d'impôt recherche est directement déduit de l'impôt sur les sociétés ou de l'impôt sur le revenu de l'entreprise qui le sollicite. S'il est supérieur à l'impôt dû, il sera déduit sur le montant de l'impôt à payer sur les trois années suivantes. Lorsque les trois années sont écoulées, si le CIR reste supérieur à l'impôt, le montant restant sera alors versé à l'entreprise.

Les subventions publiques reçues pour les projets de recherche doivent être déduites du montant des dépenses prises en compte dans le calcul du CIR.

Au regard de leur exercice comptable de 2021 (dernière année disponible), 28 800 sociétés déclarent 25,6 Md€ de dépenses éligibles au CIR, les trois types de dépenses confondus, générant un crédit d'impôt de 7,25 Md€ (la « créance »).

*Source : Mission à partir de Bercy Infos Entreprises et de l'étude « le crédit impôt recherche en 2021 » (MESR-DGRI).*

### Encadré 9 : L'impact du premier déploiement industriel (FID)

La notion de premier déploiement industriel (FID) a été introduite par la commission européenne dans la communication de 2014 décrivant les critères relatifs à l'analyse des propositions de PIIEC<sup>19</sup>. Elle désigne « le passage d'installations pilotes à une plus grande échelle ou les premiers équipements et installations de leur genre qui couvrent les étapes ultérieures à la ligne pilote, y compris l'étape expérimentale, mais pas la production de masse ni les activités commerciales ».

Les dépenses affectées à la FID ont donc été identifiées par les chefs de file lors de la conception des projets aidés par le PIIEC, mais pas pour l'ensemble de leurs produits, car il ne s'agit pas d'une notion utilisée en dehors des demandes de soutien européen.

Ainsi, la mission a choisi de ne pas demander aux industriels d'effectuer la détermination des dépenses totales affectées à la FID sur leurs six derniers exercices, qui est une tâche lourde, et qui aurait abouti à une donnée déclarative à la fiabilité incertaine. L'impact du soutien au premier déploiement industriel est approché par l'avancée en TRL des technologies des projets du programme Nano 2022, par l'atteinte des jalons prévus pour les projets de FID, et, de manière plus indirecte, par le volume de chiffre d'affaires lié à Nano 2022 (présenté en 2.2.2).

*Source : Mission*

**Les répondants au questionnaire ont déclaré 66 produits dont le développement a été réalisé dans le cadre des projets de Nano 2022.** La grande majorité des développements ont été réalisés par des entreprises : seuls trois produits ont été développés par des laboratoires publics, pour des TRL bas (de 4 à la fin du programme, voir ci-dessous).

Sur les 66 produits, 60 sont en cours de développement ou en phase de production, et 6 ont été arrêtés, soit **un taux de chute de 9 % à la date de la mission.**

Les travaux soutenus par Nano s'inscrivent dans un des cinq champs technologiques du projet important d'intérêt européen commun en microélectronique (PIIEC ME) de 2018, qui sont :

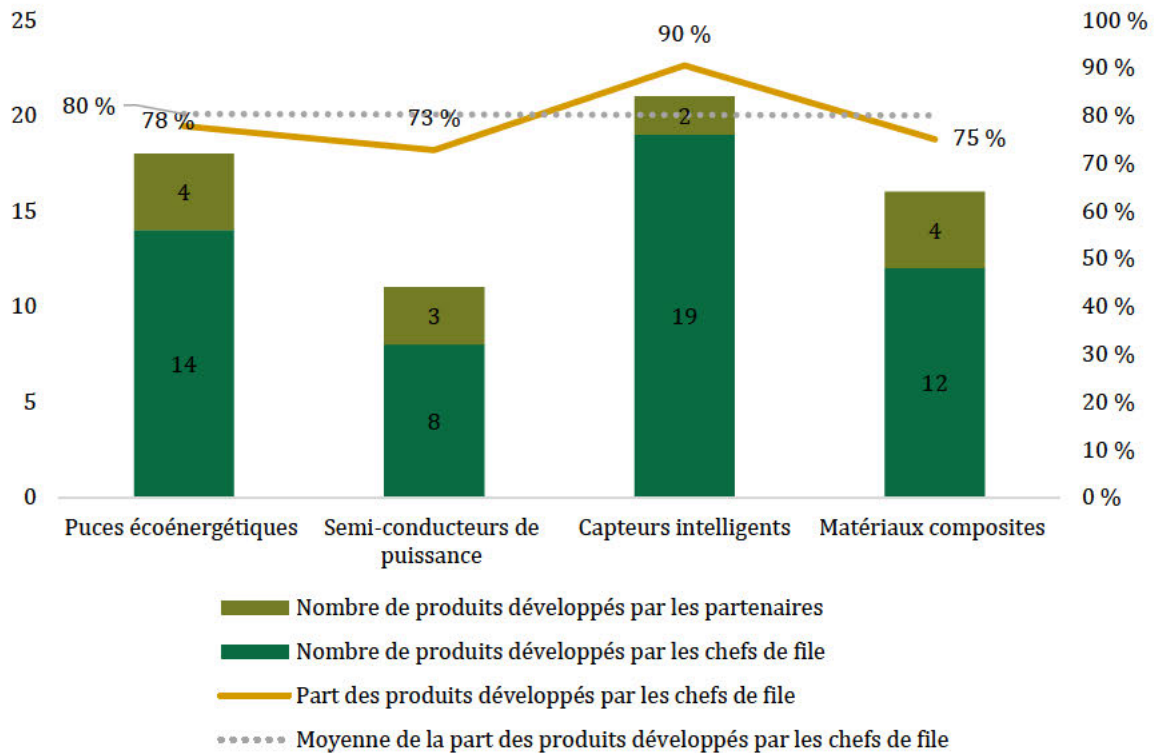
- ◆ puces écoénergétiques ;
- ◆ semi-conducteurs de puissance ;
- ◆ capteurs intelligents ;
- ◆ équipements optiques avancés ;
- ◆ matériaux composites.

<sup>19</sup> « Critères relatifs à l'analyse de la compatibilité avec le marché intérieur des aides d'État destinées à promouvoir la réalisation de projets importants d'intérêt européen commun », communication de la commission européenne, 20 juin 2014

## Annexe IV

Les acteurs français sont engagés dans tous les champs sauf le quatrième (équipements optiques avancés). Les champs technologiques du PIIEC et l'implication des acteurs français sont décrits en détail dans l'annexe I. **D'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires, le nombre de produits par champ est compris entre 11 pour les semi-conducteurs de puissance, et 21 pour les capteurs intelligents.** Les chefs de file produisent 80 % des produits, avec une faible variabilité de cette proportion entre les champs technologiques (cf. graphique 15).

**Graphique 15 : Nombre de produits développés par champ technologique du PIIEC ME**



*Source : Mission d'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires du programme Nano 2022*

Seule la moitié des partenaires a répondu au questionnaire, ainsi le nombre de produits qu'ils développent est une estimation basse. Il faut donc interpréter le taux de 80 % des produits développés par les chefs de file comme un maximum. Les chefs de file ayant été bénéficiaires de plus de 80 % de la subvention accordée, les partenaires sont surreprésentés dans le développement de nouveaux produits par rapport à l'aide qu'ils ont reçu. Le tableau 6 présente les principaux indicateurs d'activité et de résultat des projets soutenus par le programme Nano 2022 en fonction de la catégorie de bénéficiaire.

Tableau 6 : Part des projets du programme Nano 2022 dans l'activité des bénéficiaires, et principaux résultats

Indicateur	Chefs de file industriels	Autres entreprises partenaires	Partenaires académiques
Part des projets de Nano 2022 dans les dépenses de la structure <sup>20</sup>	16 % [6 % - 52 %]	Non disponible (N.D.)	0,5 % hors CEA-Leti ■ % pour le CEA-Leti
Part de la masse salariale affectée aux projets de Nano 2022	16 % [10 % - 18 %]	3,8 % [0,5 % - 17 %]	1,3 % hors CEA-Leti ■ % pour le CEA-Leti
Nombre de brevets	1166 (78 %)	0 (0 %)	320 (22 %)
Nombre de publications scientifiques	335 (31 %)	1 (0 %)	727 (69 %)
Nombre de produits développés	53 (80 %)	10 (15 %)	3 (5 %)

Source : Mission / Note : les chiffres indiqués entre crochets sont les valeurs minimales et maximales de l'indicateur.

### 3.2.2. Les produits développés dans les projets de Nano 2022 ont progressé en moyenne de 3,4 points sur l'échelle TRL, atteignant une maturité suffisante pour leur premier déploiement industriel

Le niveau de maturité d'une technologie est évalué selon le *technology readiness level*, dite échelle TRL en français. Celle-ci va de 1 (principes de base observés et rapportés) à 9 (système réel prouvé à travers des opérations / missions réussies) :

- ◆ les TRL inférieurs ou égaux à 3 concernent la recherche de base et appliquée, qui va de l'observation du principe à la preuve de concept d'application. Ces travaux sont menés par le secteur public, dans les organismes de recherche et universités ;
- ◆ les TRL de 4 à 6 décrivent le passage des composants de base au prototype, qui sont généralement réalisés en collaboration entre acteurs publics et privés, ou par des équipes de R&D du secteur privé ;
- ◆ les TRL supérieurs ou égaux à 7 vont du produit prototype au produit de série industrialisé par le secteur privé.

Les projets aidés par Nano 2022 portent sur des technologies dont le niveau de maturité au début du programme correspondait aux premières étapes des développements réalisés en partenariat entre acteurs publics et privés : d'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires, le TRL moyen des technologies des projets aidés par Nano 2022 était de 3,5 au début du programme, et seuls 8% avaient un TRL supérieur ou égal à 7 (cf. graphique 16).

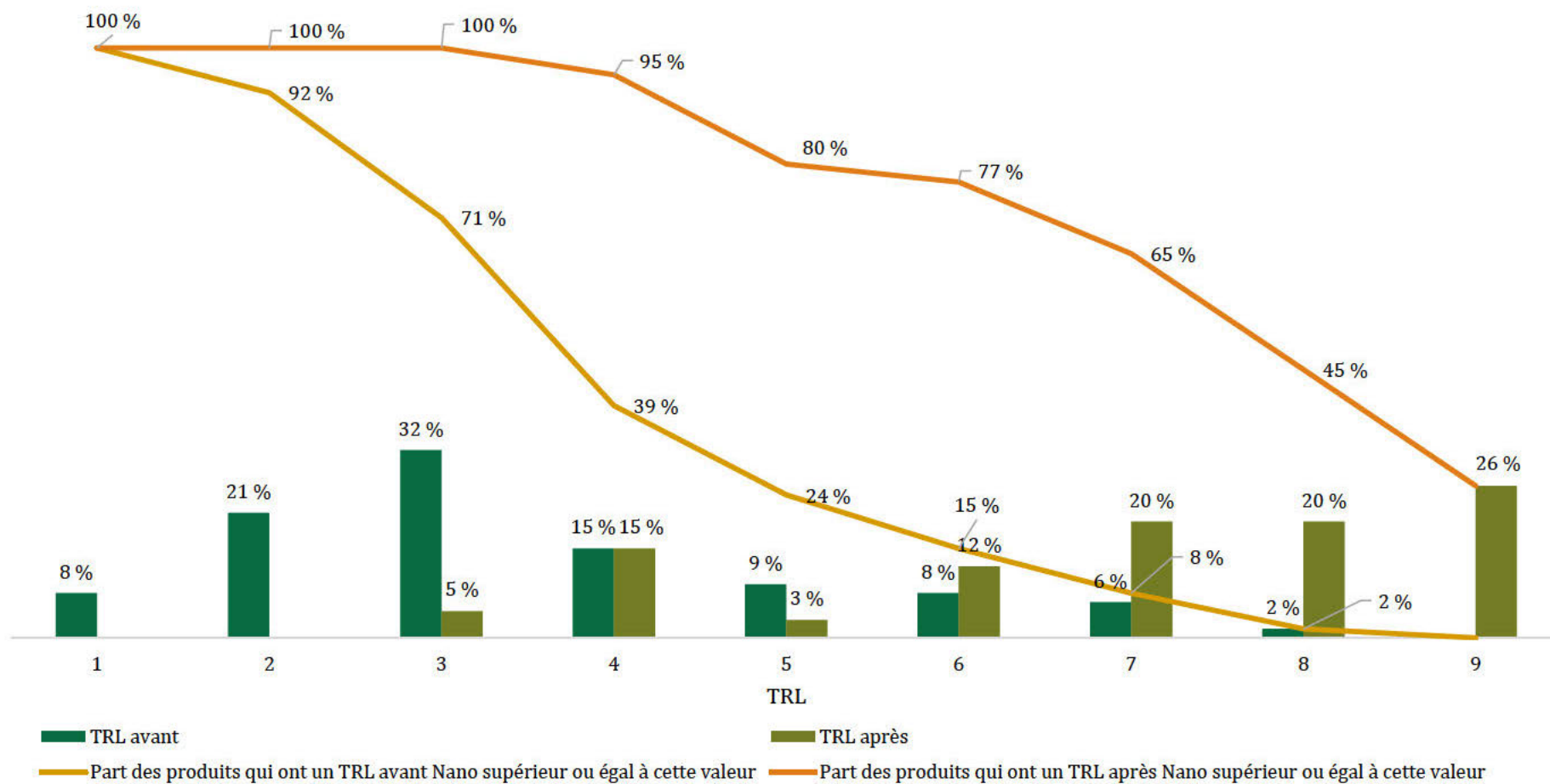
À la date de la mission, les produits avaient gagné 3,4 points sur l'échelle TRL, ce qui les fait atteindre un TRL de 6,9 en moyenne, qui est le niveau de maturité à partir duquel le secteur privé prend le relai pour assurer la suite du développement. Par ailleurs, 65 % des produits ont un TRL supérieur ou égal à 7, et 26 % sont arrivés au niveau de maturité maximal (TRL 9).

Ainsi, les projets du programme Nano 2022 ont soutenu l'avancée en maturité de technologies dans les zones de TRL où les développements sont principalement réalisés en partenariat entre acteurs privés et publics, ce qui correspond à l'objectif technique du programme.

<sup>20</sup> Pour les laboratoires académiques il s'agit du rapport entre les subventions reçues au titre du programme Nano 2022 et le budget total du laboratoire. Pour les entreprises, ce ratio correspond à la part de l'OPEX et du CAPEX attribués aux projets du programme Nano 2022 par rapport au total de l'OPEX et du CAPEX.

## Annexe IV

**Graphique 16 : Avancée en TRL des produits développés dans le cadre des projets aidés par le programme Nano 2022**



*Source : Mission d'après le questionnaire adressé aux bénéficiaires du programme Nano 2022*

## Annexe IV

Enfin, selon le questionnaire, les projets menés par les chefs de file ont donné lieu à 137 partenariats entre entreprises et acteurs académiques.

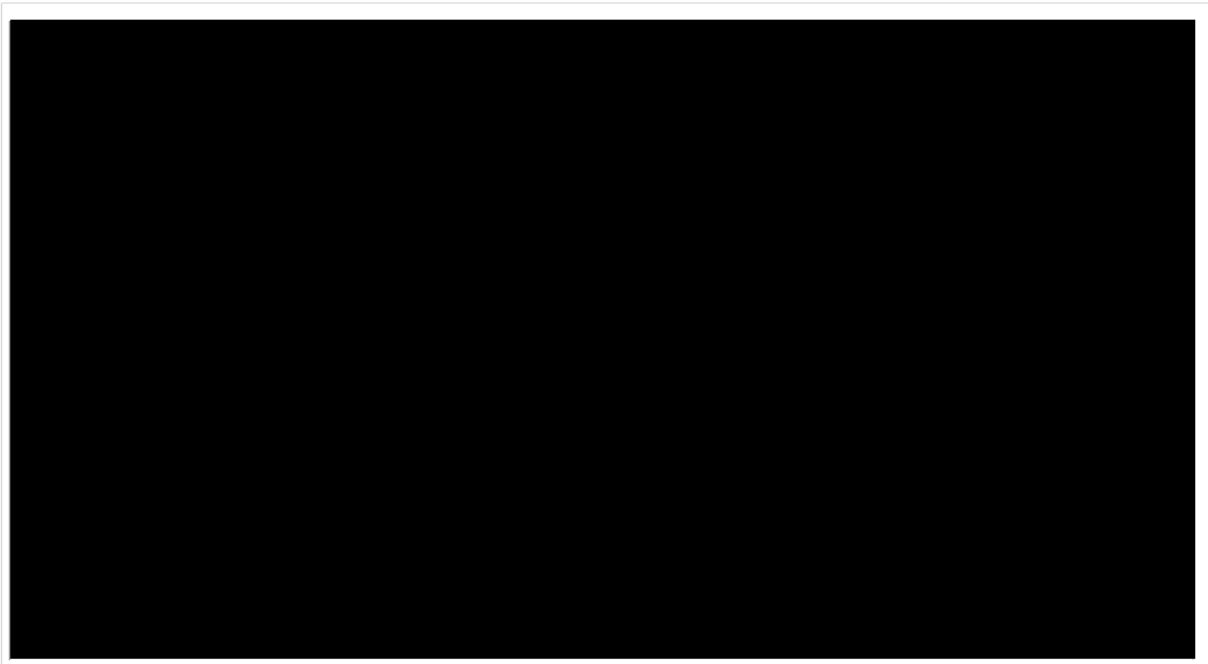
### 3.2.3. Le programme Nano 2022, qui a représenté 23 % des recettes externes du CEA-Leti entre 2018 et 2022, est la deuxième source de financement de ce laboratoire après les contrats industriels, qui constituent 45 % des recettes

Le CEA-Leti est un institut de recherche appartenant à la direction de la recherche technologique du CEA. En 2024, le CEA-Leti a reçu [REDACTED] de recettes externes (hors recettes exceptionnelles) provenant de trois sources :

- ◆ des contrats de recherche financés par des institutions publiques (OPEX et CAPEX), représentant [REDACTED] % des recettes externes ;
- ◆ des contrats de recherche financés par des industriels, représentant [REDACTED] % des recettes externes ;
- ◆ une dotation récurrente issue de la subvention pour charge de service public (SCSP) versée par l'État au CEA, représentant [REDACTED] % des recettes externes.

Le reste des recettes provient des revenus générés par les brevets du CEA-Leti, de l'ordre de 15 M€ par an.

[REDACTED]



[REDACTED]

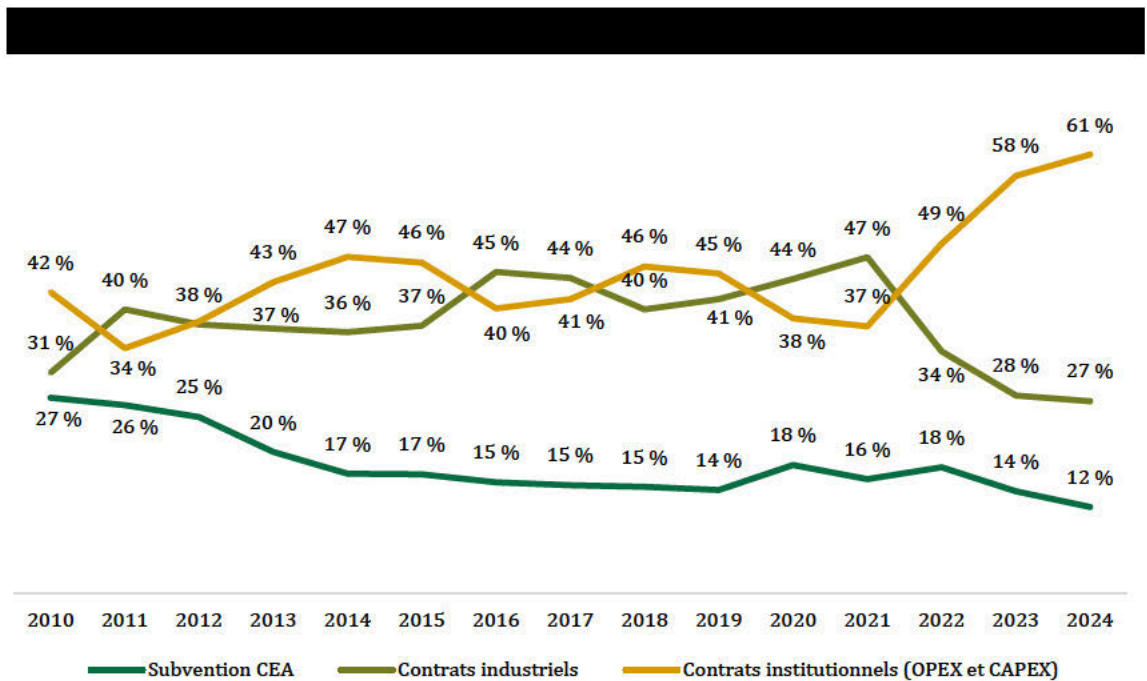
Les recettes du CEA-Leti ont augmenté entre 2010 et 2014, puis sont restées stables entre 2015 et 2021 autour de [REDACTED] par an ([REDACTED]). Le montant total des recettes externes et la part des contrats de recherche financés par des institutions publiques a fortement augmenté depuis 2022 en raison des financements dédiés au projet Liberty de France 2030 (cf. annexe I). Le montant de la dotation récurrente issue de la SCSP est stable sur la période, cependant, en raison de l'augmentation des recettes totales, il passe de [REDACTED] des recettes externes en 2010 à [REDACTED] en 2022 [REDACTED].

## Annexe IV

La période 2010-2017, qui correspond à la fin du programme Nano 2012 (2008-2012) et au programme Nano 2017 (2013-2017), voit une croissance des recettes provenant des contrats industriels, qui passent de [REDACTED] en 2010 à [REDACTED] en 2017. Sur la période du programme Nano 2022 (2018-2022), les contrats industriels varient entre [REDACTED] par an, soit environ 45 % des recettes externes du CEA-Leti.

Sur la période du programme Nano 2022 (2018-2022), les recettes externes du CEA-Leti se sont élevées à 1,5 Md€, dont 666 M€ viennent de contrats institutionnels. Les financements du programme Nano 2022 dédiés au CEA-Leti sont de 347 M€<sup>21</sup>, ainsi, **les financements du programme Nano 2022 représentent [REDACTED] des recettes institutionnelles et [REDACTED] des recettes externes totales du CEA-Leti.**

L'activité liée à Nano représente plus que la part de ses financements dans les ressources de l'institution. En effet, d'après la réponse du CEA-Leti au questionnaire adressé par la mission (cf. encadré 4), entre 2018 et 2022, la masse salariale des effectifs affectés à un projet du programme Nano constituait 34 % de la masse salariale totale du laboratoire.



[REDACTED]

**Hors CEA-Leti, les laboratoires partenaires de Nano 2022 répondants à l'enquête ont un budget total moyen de 7,9 M€ par an, dont 3,2 M€ (soit 40 %) sous la forme de contrats de recherche publics et 0,5 M€ (soit 7 %) sous la forme de contrats avec des industriels. Cette composition des ressources diffère du modèle du CEA-Leti, qui durant la période du programme Nano 2022 tirait environ 45 % de ses recettes externes de contrats industriels (cf. graphique 18). Les laboratoires partenaires bénéficiaires du programme Nano 2022 sont beaucoup plus financés (en proportion) par des crédits publics que le CEA-Leti.**

<sup>21</sup> Tous financeurs confondus (État, collectivités territoriales, UE). Il s'agit des engagements de financement pris sur la période du programme Nano 2022 (2018-2022), même si certains versements ont été réalisés après 2022.

Le programme Nano 2022 est une source de financement limitée pour les laboratoires partenaires : entre 2019 et 2023, pour les laboratoires partenaires répondants, les financements de l'État liés au programme Nano 2022 représentent 0,5 % de leur budget total et 1,2 % du montant de leurs financements provenant de contrats de recherche (publics ou industriels). Les effectifs affectés à Nano représentent 1,3 % de leur masse salariale totale (cf. tableau 6).

### **3.3. L'analyse causale à partir d'un contrefactuel synthétique, réalisable pour six des douze unités légales des chefs de file, montre que l'effet du programme Nano 2022 sur les dépenses de R&D n'est pas significatif pour quatre entités, est positif pour une entité et négatif pour la dernière**

L'identification des effets attribuables aux aides publiques versées aux bénéficiaires dans le cadre du programme Nano 2022 suppose de neutraliser les effets des autres facteurs qui ont pu impacter les entreprises pendant le déroulé du programme. Pour ce faire, il est nécessaire de comparer à un contrefactuel, c'est-à-dire à des entreprises qui n'ont pas bénéficié du programme mais qui ont les mêmes caractéristiques, et qui sont susceptibles d'avoir été soumises aux mêmes effets de conjoncture avant et pendant la durée du programme.

La constitution d'une situation contrefactuelle repose habituellement sur l'analyse des entreprises du même secteur d'activité qui n'ont pas reçu d'aides. L'évaluation finale de Nano 2017 avait pu construire des analyses économétriques à partir de celles-ci (cf. annexe II). Or, le programme Nano 2022 a aidé tous les acteurs dont la production de semi-conducteurs constitue l'activité principale (la production de semi-conducteurs représente 50 % du chiffre d'affaires des chefs de file, contre 16 % du chiffre d'affaires des autres entreprises qui ont produit au moins un composant semi-conducteur en 2022) et un large réseau d'entreprises partenaires a été associé aux projets. Il n'est donc pas possible d'identifier des entreprises du même secteur qui n'ont pas bénéficié du programme Nano 2022.

L'analyse causale nécessite donc d'élaborer un contrefactuel dit « *synthétique* ». La méthode consiste en la construction d'une entreprise factice constituée de morceaux d'entreprises réelles, afin qu'elle ait des caractéristiques proches de celles de l'entreprise traitée. Les entreprises réelles sont sélectionnées dans des secteurs d'activité qui n'ont pas bénéficié de plans sectoriels de soutien public. Ainsi les entreprises de l'aéronautique, qui a fait l'objet d'un plan de soutien spécifique post crise sanitaire, sont exclues. Une fois le synthétique créé, l'effet de l'intervention peut être objectivé à l'aide d'un test de permutation : une distribution est obtenue en construisant successivement un synthétique pour chaque unité du groupe de contrôle, afin d'obtenir un effet « placebo ». Si le véritable effet n'est pas discernable des effets placebos, alors il n'est pas significatif.

La méthode de construction du contrefactuel synthétique et les tests réalisés pour s'assurer de la robustesse des résultats sont détaillés en annexe VII.

La recherche de contrefactuel synthétique a été effectuée pour chacun des chefs de file industriels du programme Nano 2022 : il s'agissait de construire une entreprise factice pour chacune des 7 unités légales françaises de STMicroelectronics et des cinq autres chefs de file.

Les six unités légales pour qui le synthétique est stable (cf. annexe VII) sont les suivantes :

- ◆ STMicroelectronics (Tours) ;
- ◆ STMicroelectronics (Crolles 2) ;
- ◆ Murata integrated passive solutions ;
- ◆ UMS ;
- ◆ Soitec ;
- ◆ LYNRED.

## Annexe IV

Des contrefactuels synthétiques stables n'ont pas pu être construits pour X-Fab France et les cinq autres unités légales de STMicroelectronics : aucune combinaison d'entreprises réelles ne reconstituait les caractéristiques de ces entités.

Le programme Nano 2022 est un plan de soutien à la R&D industrielle. L'évaluation visait à déterminer si le programme a aidé les entreprises à élargir leurs projets de recherche au-delà de ce qu'elles auraient réalisé en son absence. Les dépenses dédiées à la R&D au niveau de chaque entreprise ne sont pas disponibles dans les données administratives. Elles peuvent être approchées par les créances de CIR qui sont disponibles au CASD, or, le périmètre des données reportées est différent en fonction des années, ce qui ne permet pas d'étudier les évolutions sur une période longue<sup>22</sup>. Ainsi, la mission a choisi d'approcher l'investissement des entreprises dans la R&D par la masse salariale des ingénieurs de R&D, identifiable dans les DADS (cf. 3.1.1.2).

L'effet de l'intervention est considéré comme significatif si l'effet obtenu est significativement différent des placebos. Pour des raisons de secret statistique, les résultats individuels de la modélisation présentés au tableau 7 et au graphique 19 ont été anonymisés, et les unités légales sont désignées par une lettre (de A à F) :

- ◆ pour quatre unités légales, l'évolution de la masse salariale des ingénieurs de R&D de la structure aidée n'est pas significativement différente de celle de son contrefactuel synthétique ;
- ◆ pour deux unités légales, les effets trouvés sont statistiquement significatifs mais dans des sens opposés :
  - pour l'une, l'évolution de la masse salariale est inférieure à celle de son contrefactuel ;
  - pour l'autre, la masse salariale a plus augmenté que celle de son contrefactuel, et l'amplitude de l'effet est important : la dépense en salaires bruts de personnel de recherche est environ 30 % plus importante en moyenne sur l'ensemble de la période post-intervention que celle qui aurait eu lieu en l'absence d'intervention.

Sur le graphique 19, les évolutions de l'entreprise traitée sont symbolisées par la courbe noire, et celles des entreprises placebos sont en gris. Quand la courbe noire se situe au milieu des courbes grises (entreprises A, C, E et F), l'effet sur l'entreprise traitée est indiscernable des placebos : l'effet est non significatif. Pour l'entreprise B, la courbe noire est au-dessus (effet positif) et pour l'entreprise D, la courbe noire est en dessous (effet négatif).

---

<sup>22</sup> La mission a cependant exploité les montants de créance de CIR entre 2018 et 2021 disponibles dans la base GECIR du ministère de la recherche afin de tester la pertinence d'approcher les dépenses totales de R&D par la masse salariale des ingénieurs de R&D, la créance du CIR étant quasi-directement proportionnelle aux dépenses totales de R&D (cf. encadré 8). Entre 2018 et 2021, le ratio entre la masse salariale des ingénieurs de R&D et la créance du CIR est restée stable chez les chefs de file, ce qui suggère que la stratégie de répartition des investissements de R&D entre les ressources humaines et l'équipement n'a pas changé avec la mise en place du programme Nano 2022.

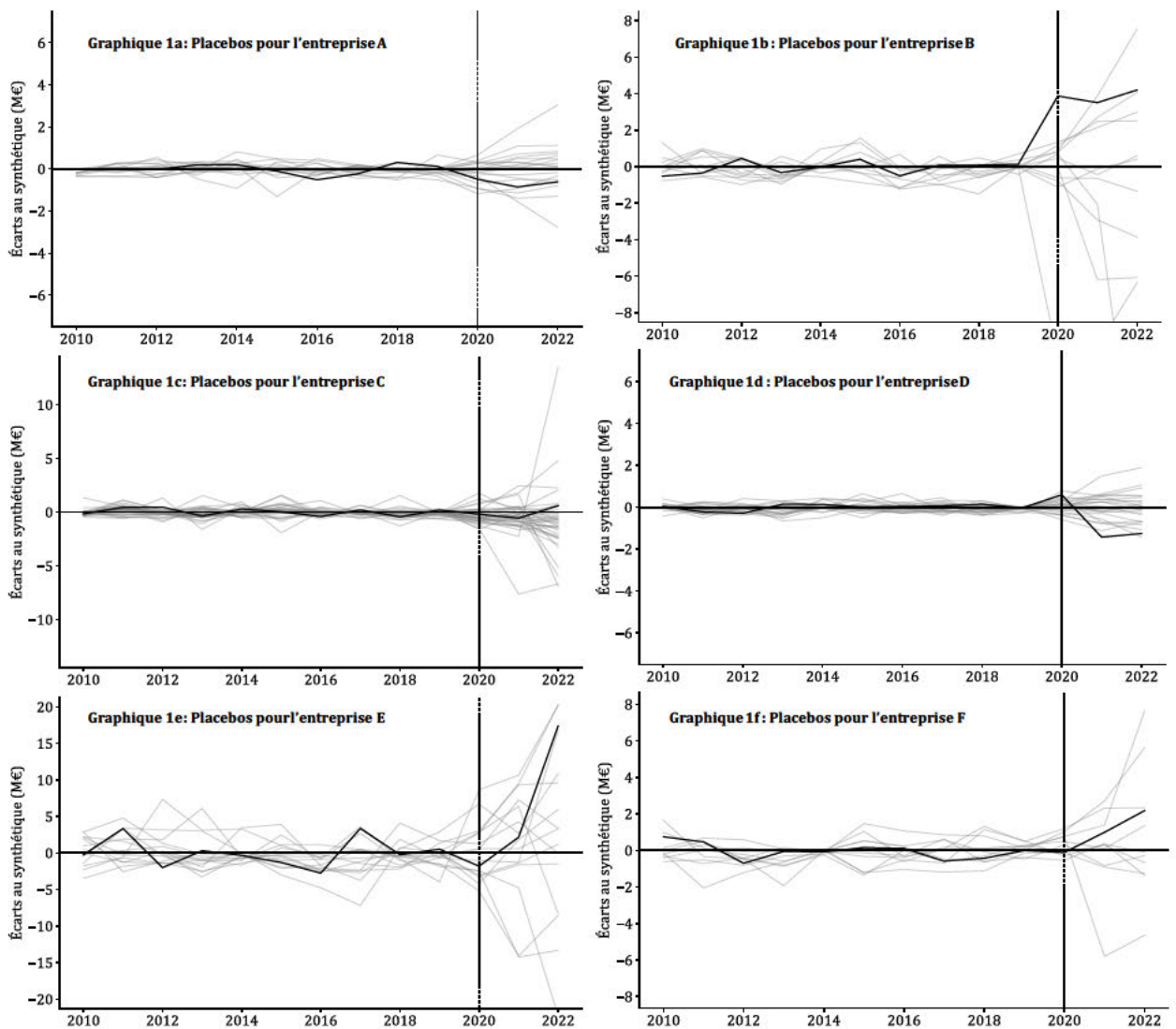
Annexe IV

Tableau 7 : Résultats de la modélisation économétrique de l'effet du programme Nano 2022 sur l'évolution de la masse salariale des ingénieurs de R&D

Unité légale	Significativité de l'effet	p-valeur
A	Non significatif	0,37
B	Positif significatif	0,07
C	Non significatif	0,5
D	Négatif significatif	0,04
E	Non significatif	0,18
F	Non significatif	0,15

Source : Pôle sciences des données de l'IGF | Note : pour des raisons de secret statistique les noms des entreprises sont anonymisés. Dans cette modélisation, un effet est considéré comme significatif lorsque sa p-valeur est inférieure à 0,1, en raison de la taille limitée de l'échantillon. Les résultats portent sur les unités légales pour lesquelles un contrefactuel stable a pu être élaboré.

Graphique 19 : Effets placebos pour les six entreprises traitées



Source : FARE, DADS, EAP, DOU-ENQ DGDDI, GECIR 2010-2022, calculs : Pôle sciences des données.

Note de lecture : Pour chaque graphique, la ligne noire représente la trajectoire de l'entreprise traitée, et les lignes grises les placebos.

#### Annexe IV

D'après les résultats de cette analyse causale, **des effets positifs clairs du programme Nano 2022 sur le dynamisme de la R&D sont mis en évidence chez un seul chef de file, qui fait partie des plus petites structures aidées. Aucun effet positif n'est mis en évidence chez les autres**, et l'effet est même négatif pour un des chefs de file.

L'effet levier du programme Nano 2022 sur les dépenses de R&D apparaît ainsi limité pour la plupart des chefs de file. Il semble cependant avoir eu un impact déterminant sur les plus petites structures, ce qui appelle à considérer différemment les mécanismes de soutien à la R&D en fonction de la taille de l'acteur ciblé.

## **ANNEXE V**

# **Indépendance et souveraineté technologique dans le domaine de l'électronique**

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. DES DÉPENDANCES SONT OBSERVÉES POUR LES INDUSTRIES FRANÇAISES SUR LE SEGMENT DES INTRANTS ET DANS UNE MOINDRE MESURE SUR CELUI DES PRODUITS FINIS.....</b>	<b>3</b>
1.1. Les producteurs de composants électroniques se fournissent en intrants hors Union européenne.....	3
1.1.1. <i>Les ressources en silicium de qualité électronique et en minerais spécifiques sont concentrées en Asie .....</i>	<i>3</i>
1.1.2. <i>Les intrants nécessaires à la production de composants semi-conducteurs sont en majorité produits au Japon .....</i>	<i>6</i>
1.1.3. <i>Si l'Europe dispose d'un actif stratégique sur le segment des machines-outils, les États-Unis et le Japon comprennent également des acteurs majeurs sur ce segment.....</i>	<i>9</i>
1.2. En aval de la chaîne de valeur, la dépendance des industries intégrant des composants électroniques varie en fonction des secteurs.....	11
1.2.1. <i>Les savoir-faire des fabricants domestiques concernant la production de composants utiles au secteur automobile ont été préservés, mais certaines étapes de la chaîne de valeur ont été délocalisées.....</i>	<i>13</i>
1.2.2. <i>Le maintien d'un savoir-faire domestique en termes de conception et de fonderie de composants matures constitue une garantie de souveraineté pour l'industrie de défense .....</i>	<i>15</i>
1.2.3. <i>La France et l'Europe sont en situation de dépendance critique sur le segment des composants logiques avancés, vecteurs de croissance dans les domaines des télécommunications et de l'intelligence artificielle.....</i>	<i>16</i>

1.3. Les industriels français ont partiellement intégré une stratégie de <i>derisking</i> envers la Chine, qui reste néanmoins un marché un important et constitue de ce fait un facteur de risque au niveau de la demande .....	18
<b>2. LE CONTEXTE D'INSTABILITÉ GÉOPOLITIQUE CONTRIBUE À AUGMENTER LE NIVEAU DE VULNÉRABILITÉ DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT .....</b>	<b>21</b>
2.1. La notion de souveraineté résulte du croisement entre les notions de dépendance, de vulnérabilité et de maîtrise des risques.....	21
2.2. Sous l'effet de récentes coupures dans les chaînes d'approvisionnement, les enjeux de souveraineté dans le domaine électronique connaissent un regain d'intérêt de la part des grandes puissances économiques .....	23
2.3. Les tensions entre la Chine et Taiwan d'une part et entre les États-Unis et la Chine d'autre part sont à l'origine d'une augmentation du niveau de vulnérabilité sur la chaîne d'approvisionnement.....	24
<b>3. DANS UN CONTEXTE D'INTERDÉPENDANCE DES ACTEURS AU NIVEAU MONDIAL, DEUX STRATÉGIES DE MAÎTRISE DES RISQUES COEXISTENT .....</b>	<b>28</b>
3.1. En matière de souveraineté technologique, les politiques publiques à déployer dépendent du niveau de développement sectoriel .....	28
3.2. L'Europe privilégie une stratégie de souveraineté ciblée sur ses domaines de spécialité, abordable avec les moyens financiers qui sont les siens .....	30
3.3. La Chine et les États-Unis, en conflit commercial ouvert dans le champ des semi-conducteurs, ont opté pour une stratégie de souveraineté intégrale.....	34

## INTRODUCTION

Bien que n'apparaissant pas explicitement dans les objectifs initiaux du programme Nano 2022, **la lettre de mission enjoint d'examiner les enjeux de souveraineté liés au maintien et au développement d'une filière électronique en France et en Europe**. De par sa position amont sur la chaîne de valeur (*cf.* annexe III), le secteur électronique possède un caractère qui peut se révéler stratégique pour les industries avales, notamment l'automobile, l'aéronautique ou les industries de défense.

La mission s'est appuyée sur quatre articles académiques<sup>1</sup> pour définir trois critères fondant son analyse de souveraineté. Ces trois critères permettent d'identifier 1. les principales dépendances sur la chaîne de valeur ; 2. les niveaux de vulnérabilité associés à ces dépendances ; 3. la cohérence des politiques publiques mises en œuvre au regard de ces risques :

- ◆ **dépendance** : la dépendance relative aux intrants de la chaîne de production constitue le premier critère de souveraineté retenu par la mission. Cette dépendance a été évaluée dans la partie 1.1 selon deux méthodes, en se limitant aux intrants directs<sup>2</sup> identifiés par Bonnet et Ciani<sup>3</sup> :
  - la première méthode reprend les travaux de Méjean et Jaravel<sup>4</sup>, en analysant les **importations extra-européennes et notamment leur niveau de concentration vis-à-vis d'un pays ou d'une entreprise unique**. Les données utilisées sont les données douanières disponibles sur le centre d'accès sécurisé aux données (CASD), alimentées par les déclarations d'échanges de bien (DEB) d'une part et les documents administratifs uniques (DAU) d'autre part ;
  - la seconde méthode analyse la **balance commerciale** de la France, produit par produit. Elle permet de compléter l'analyse brute des importations, qui ne prennent pas en compte la production domestique. Les données utilisées proviennent de la base pour l'analyse du commerce international (BACI).

---

<sup>1</sup> M. Bauer, F. Erixon, (février 2020) : « Europe's quest for technology sovereignty: Opportunities and pitfalls », *ECIPE occasional paper* ; F. Crespi, S. Caravella, M. Menghini and C. Salvator (2021): « European Technological Sovereignty: An Emerging Framework for Policy Strategy », *Intereconomics*, vol 56, pp. 348-354 ; J. Adler, K. Blind, H. Kroll, T. Schubert (2023): « Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means », *Research Policy*, vol 52, n° 6 ; J. Jürgen, (2024): « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61.

<sup>2</sup> Faute de méthode exhaustive de sourcing, il n'est pas possible d'identifier les intrants indirects, *ie* nécessaires à la production d'intrants pour la filière électronique mais n'étant pas utilisés en tant que tel dans le processus de production.

<sup>3</sup> P. Bonnet, A. Ciani. (2023) : « Applying the SCAN methodology to the Semiconductor Supply Chain », *JRC Working Papers in Economics and Finance*, n° 2023/8.

<sup>4</sup> X. Jaravel, I. Méjean (avril 2021) : « Quels intrants vulnérables doit-on cibler ? », *Focus du Conseil d'Analyse Economique*, n° 057-2021.

## Annexe V

La dépendance des industries aval envers les produits finis électroniques a, quant à elle, été évaluée dans la partie 1.2, en se limitant aux produits finis correspondant aux codes 8541, 8542 et à une partie du code 8523 du système douanier harmonisé (codes SH). Les indicateurs permettant de caractériser la dépendance des industries avales sont la part d'importations étrangères et la balance commerciale. Ces indicateurs ne permettent néanmoins pas dans ce cas de discriminer finement selon l'usage final, ni selon le type de produit<sup>5</sup>. **La dépendance de chaque filière aval a donc été estimée de façon plus qualitative, sur la base de l'adéquation entre les besoins et les capacités de production domestique ;**

- ◆ **vulnérabilité** : considérant que toutes les dépendances ne sont pas équivalentes en termes de risque de rupture de la chaîne d'approvisionnement, le niveau de vulnérabilité constitue le second critère retenu par la mission dans son analyse de souveraineté. Le niveau de vulnérabilité vis-à-vis de nos partenaires commerciaux a été estimé de façon qualitative en partie 2. **La probabilité et l'impact des aléas d'ordre géopolitique identifiés<sup>6</sup> (sanctions commerciales, conflit armé) ont été évalués** sur la base des notes d'ambiance fournies par les services économiques régionaux, des articles de presse en source ouverte et de l'indicateur développé par Dario Caldara et Matteo Iacovello<sup>7</sup>. Cette analyse qualitative conduit la mission à proposer une matrice des risques en 2.3 ;
- ◆ **politiques publiques** : la mission a analysé en partie 3 les politiques publiques mises en œuvre par les Etats-Unis, la Chine et l'Europe au regard de la problématique de souveraineté. Le cadre conceptuel d'analyse a initialement été défini par J. Jürgen, chercheur et directeur adjoint de l'institut de recherche économique autrichien (Research Center International Economics)<sup>8</sup>. Il propose une **réponse publique articulée entre soutien à la R&D, politique industrielle et politique commerciale, et adaptée en fonction de l'objectif recherché** : maintien à la frontière technologique, mitigation du décrochage, rattrapage technologique. Les *Chips Act* américain et européen ainsi que le plan *Made in China 2025* sont analysés au regard de ce prisme.

---

<sup>5</sup> Les codes de la nomenclature douanière regroupent des catégories assez larges de produits.

<sup>6</sup> En particulier, les vulnérabilités liées aux risques naturels (impact différencié des risques météorologiques, sismiques, du changement climatique en fonction de la zone) ou technologique (risque accru lié à des normes de sécurité moins contraignantes) n'ont pas été évaluées au niveau de chaque pays.

<sup>7</sup> D. Caldara, M. Iacoviello (2022) : « Measuring geopolitical risk », *American Economic Review*, vol. 112, n° 4, pp. 1194-1225.

<sup>8</sup> ; J. Jürgen, (2024) : « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61.

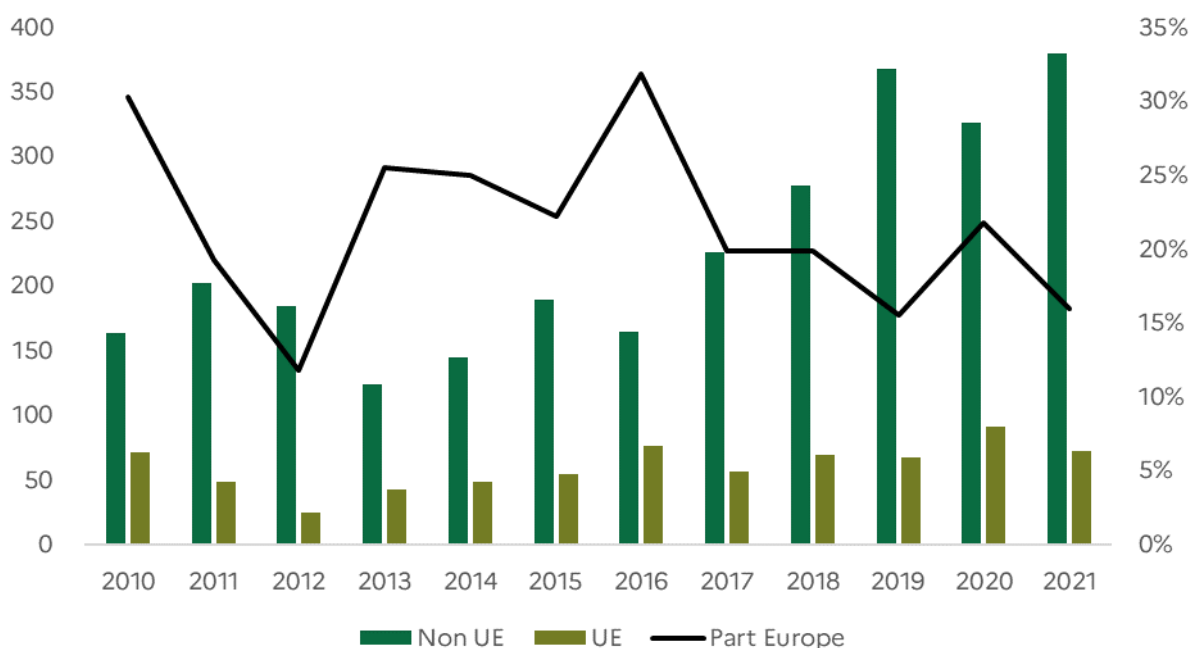
## 1. Des dépendances sont observées pour les industries françaises sur le segment des intrants et dans une moindre mesure sur celui des produits finis

### 1.1. Les producteurs de composants électroniques se fournissent en intrants hors Union européenne

#### 1.1.1. Les ressources en silicium de qualité électronique et en minerais spécifiques sont concentrées en Asie

Les importations de plaquettes par les entreprises françaises entre 2010 et 2021 sont fortement corrélées<sup>9</sup> à la production de ces dernières, avec une forte baisse à partir de 2014, puis une augmentation importante à partir de 2016. Les importations intra-européennes ne représentent que 15 % du volume d'importations en 2021 (cf. graphique 1), ce qui est cohérent avec le fait que les principaux sites de production de silicium cristallin de qualité électronique se trouvent en Asie et aux États-Unis. De fait, le principal pays fournisseur de plaquettes aux entreprises françaises en 2022 était le Japon.

**Graphique 1 : Importations de plaquettes par les entreprises française, en M\$, et part d'importations issues de l'union européenne**



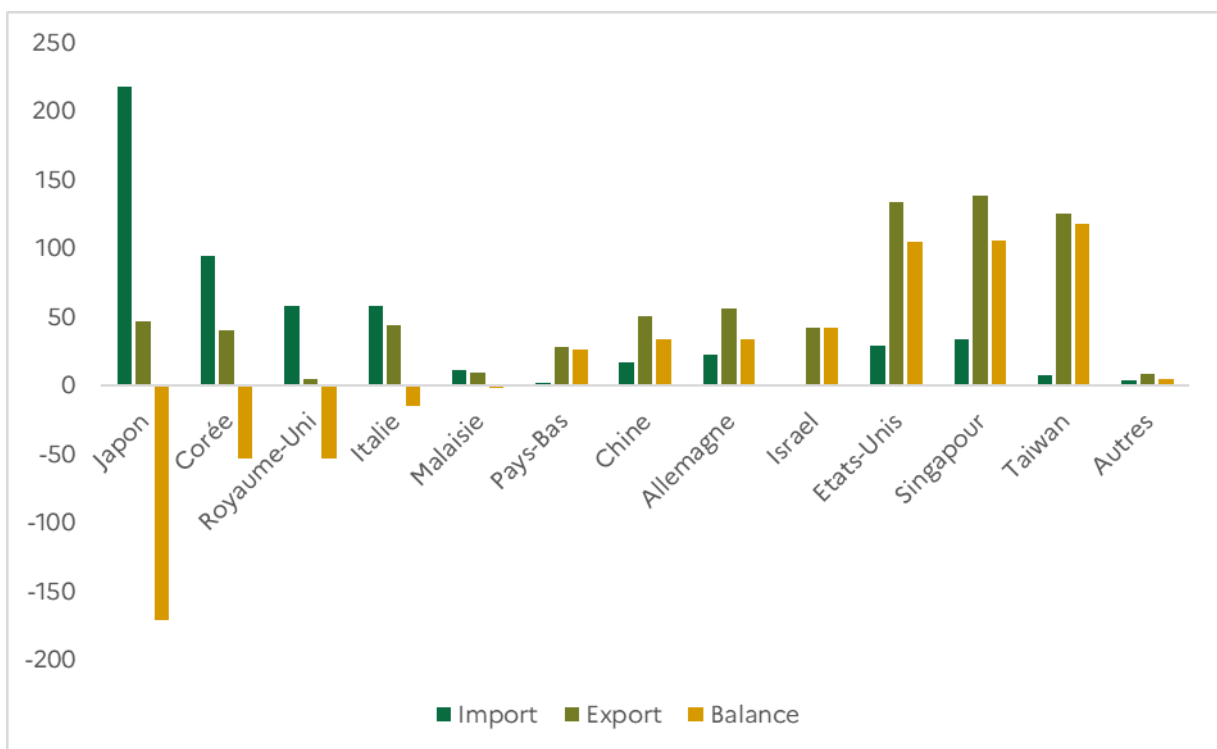
*Source : DGDDI, DOU-ENQ, calculs pôle sciences des données de l'IGF*

*Note de lecture : Axe de gauche, importations en M\$, bâtons verts ; axe de droite, part d'importations européennes en pourcentage, trait noir.*

<sup>9</sup> Sur la période 2010-2021, le coefficient de corrélation entre les importations de plaquettes et le chiffre d'affaires des chefs de file du programme Nano est de 0,8.

**Pourtant, la balance commerciale de la France sur le segment des plaquettes est excédentaire.** Si un déficit commercial est constaté vis-à-vis du Japon et de la Corée, la balance est excédentaire vis-à-vis des États-Unis, de Singapour et de Taiwan, et dans une moindre mesure vis-à-vis des Pays-Bas, de la Chine, de l'Allemagne et d'Israël (cf. graphique 2). Cette situation pourrait s'expliquer par la différence de nature entre les produits importés et les produits exportés au sein d'un même code douanier. En effet, les exportations françaises pourraient être liées à l'activité de Soitec, leader mondial sur son marché et seul producteur domestique significatif de plaquettes. À l'inverse, les importations seraient essentiellement constituées de plaquettes en silicium pur, produits au Japon. **La France est donc dépendante du Japon pour la fourniture de plaquettes en silicium, mais demeure grâce à l'entreprise Soitec un acteur majeur pour ce qui est des plaquettes multicouches (silicium sur isolant ou matériaux composites sur silicium).**

Graphique 2 : Balance commerciale de la France, 2022, en M\$ (plaquettes)<sup>10</sup>



*Source : Données BACI, champs des codes produits retenus : 381800 ("Silicon doped for use in electronics, in the form of discs, wafers, cylinders, rods or similar forms and Chemical elements" and "compounds doped for use in electronics, in the form of discs, wafers, cylinders, rods or similar forms, or cut into discs, wafers or similar forms").*

<sup>10</sup> Taiwan n'étant pas un pays reconnu par l'Organisation des nations unies, il ne dispose pas de code douanier propre. La documentation BACI (FAQ consultée le 3 décembre 2024) indique néanmoins que la catégorie « Asia, not elsewhere specified » (code 490) constitue un bon proxy pour évaluer les échanges commerciaux avec Taiwan. C'est cette convention qui est utilisée par la suite.

Outre le silicium de qualité électronique, **d'autres métaux constituent des intrants permettant de réaliser des semi-conducteurs composites aux propriétés particulières.** C'est notamment le cas du gallium (Ga), de l'arsenic (As), de l'indium (In) ou encore du phosphore (P), utilisés en électronique de puissance ou en optoélectronique pour réaliser des alliages GaN, GaAs ou InP. Si la Chine reste le premier producteur mondial de gallium (80 %), d'indium (48 %) et de phosphore (74 %), il n'existe pas de situation de dépendance forte constatée sur ces produits<sup>11</sup>. La dépendance<sup>12</sup> à l'égard des importations s'élève respectivement à 31 % pour le gallium (Allemagne et Royaume-Uni principaux fournisseurs) et à 0 % sur l'Indium (France, Belgique, Royaume-Uni et Allemagne principaux fournisseurs). **En effet, la production européenne, bien que minoritaire relativement à la production mondiale, suffit à fournir les besoins domestiques actuels.** En revanche, l'Europe dépend à 100 % de pays hors Union européenne pour la fourniture de phosphore (Kazakhstan, Vietnam et plus marginalement Chine)<sup>13</sup>. Certains fabricants produisent eux-mêmes les lingots dont ils ont besoin sur certains marchés très spécifiques (lingots à base de germanium et d'antimoine pour LYNRED notamment)

**Certains éléments chimiques comme l'or, l'argent ou le cobalt, et d'autres appelées « terres rares<sup>14</sup> » sont également utilisés dans l'industrie électronique.** Ils présentent la triple caractéristique d'être peu substituables, mono-sourcés et de constituer un marché économique limité (pour les terres rares) :

- ♦ utilisations et non substituabilité : à titre d'exemple, l'erbium est utilisé pour ses propriétés amplificatrices dans les fibres optiques ; les propriétés émettrices des certaines terres rares sont utilisés dans les écrans de smartphone pour produire certaines couleurs (yttrium, lanthane, terbium, europium, gadolinium) ou pour réduire la pénétration des rayons ultraviolets (praséodyme, dysprosium) ; le néodyme permet de produire des aimants plus puissants utilisés notamment dans les disques durs, les lasers et les moteurs électriques ; l'or est utilisé comme connecteur pour ses propriétés de conductivité, de résistance à l'oxydation et de ductilité ; enfin, les propriétés fluorescentes de l'erbium sont mises à profit notamment dans les écrans d'ordinateurs et de télévision<sup>15</sup>. Si aucun de ces éléments chimiques ne peut être remplacé par un autre élément présentant des performances identiques, cinq d'entre eux sont identifiés comme présentant des propriétés réellement uniques : il s'agit du dysprosium, de l'europium, de l'yttrium, du thulium et de l'ytterbium<sup>16</sup> ;

---

<sup>11</sup> La Chine vient néanmoins de décréter un embargo sur les exportations de gallium et de germanium à destination des Etats-Unis, ce qui pourrait contribuer à tendre le marché au niveau mondial (H. Thibault, (4 décembre 2024) : « La Chine interdit la vente de certains métaux rares comme le gallium et le germanium aux Etats-Unis », *Article du Monde*).

<sup>12</sup> La dépendance envers les importations est calculée comme la rapport suivant :

$$\frac{(\text{importations} - \text{exportation})}{(\text{production intérieure} + \text{importations} - \text{exportations})}$$

<sup>13</sup> *Résilience des matières premières critiques : la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité*, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au comité des régions, 3 septembre 2020

<sup>14</sup> Les terres rares sont un groupe de 17 éléments chimiques (lanthane (La) ; cérium (Ce) ; praséodyme (Pr) ; néodyme (Nd) ; prométhium (Pm) ; samarium (Sm) ; europium (Eu) ; gadolinium (Gd) ; terbium (Tb) ; dysprosium (Dy) ; holmium (Ho) ; erbium (Er) ; thulium (Tm) ; ytterbium (Yb) ; lutécium (Lu), scandium (Sc) ; et l'yttrium (Y)) aux propriétés chimiques particulières, essentiels dans la fabrication de certains dispositifs électroniques (notamment les smartphones).

<sup>15</sup> B. Daigle and S. DeCarlo, (juin 2021) : « Rare earth and the U.S. electronics sector : supply chain developments and trends », *Office of industries, working paper ID-075*.

<sup>16</sup> *Ibid.*

- ♦ **origine : les réserves mondiales de terres rares sont concentrées dans quatre pays :** la Chine (36,7 %), le Brésil (17,5 %), le Vietnam (18,3 %) et la Russie (10 %). Jusque dans les années 2010, la Chine était à l'origine de 90 à 100 % de la production mondiale de terres rares. Cette proportion a ensuite baissé sous l'effet de l'exploitation des ressources minières par le Vietnam<sup>17</sup> pour atteindre 60 % en 2020. En 2023, les importations françaises de terres rares viennent à plus de 80 % de Chine<sup>18</sup> ;
- ♦ **marché :** en 2019, le marché mondial des terres rares représentait 13,2 Md\$<sup>19</sup>. En France, les importations se sont élevées à seulement 14 M€ en 2023<sup>20</sup>. Néanmoins, cette valeur de marché ne reflète pas le coût d'une rupture dans la chaîne d'approvisionnement de l'un de ces éléments. Leur position très amont dans la chaîne de valeur ainsi que leur caractère non substituable en font des intrants stratégiques.

### 1.1.2. Les intrants nécessaires à la production de composants semi-conducteurs sont en majorité produits au Japon

**La production de composants semi-conducteurs s'appuie sur un nombre important d'intrants chimiques, essentiellement importés :** résines photosensibles et masques (ou photo-masque) qui constituent des spécialités japonaises, nécessaires pour la gravure de plaquettes<sup>21</sup> ; solvants, acides, décapants pour nettoyer les surfaces après la phase de lithographie (production notamment américaine) ; mais également certains gaz qui peuvent être utilisés pour protéger les plaquettes des impuretés atmosphériques, ou pour déposer des composants sur le substrat (production notamment européenne). D'autres produits (cadres de plomb, fils connecteurs, résines, produits céramiques, adhésifs de fixation) sont utilisés lors de la phase d'assemblage. Le Japon en est le principal pays producteur<sup>22</sup>, notamment sur le marché des poudres de céramique, des feuillets de diélectriques, ou encore des électrolytes pour les condensateurs électroniques.<sup>23</sup> De ce fait, la balance commerciale de la France est fortement déficitaire sur le segment des intrants. La quasi-totalité des intrants est fournie par quatre pays : le Japon, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Belgique (*cf.* graphique 3).

---

<sup>17</sup> Essentiellement concentrées à la frontière nord du pays partagée avec la Chine

<sup>18</sup> X. Jaravel, I. Méjean (avril 2021) : « Quels intrants vulnérables doit-on cibler ? », *Focus du Conseil d'Analyse Économique*, n° 057-2021.

<sup>19</sup> B. Daigle and S. DeCarlo, (juin 2021) : « Rare earth and the U.S. electronics sector : supply chain developments and trends », *Office of industries, working paper ID-075*.

<sup>20</sup> X. Jaravel, I. Méjean (avril 2021) : « Quels intrants vulnérables doit-on cibler ? », *Focus du Conseil d'Analyse Économique*, n° 057-2021.

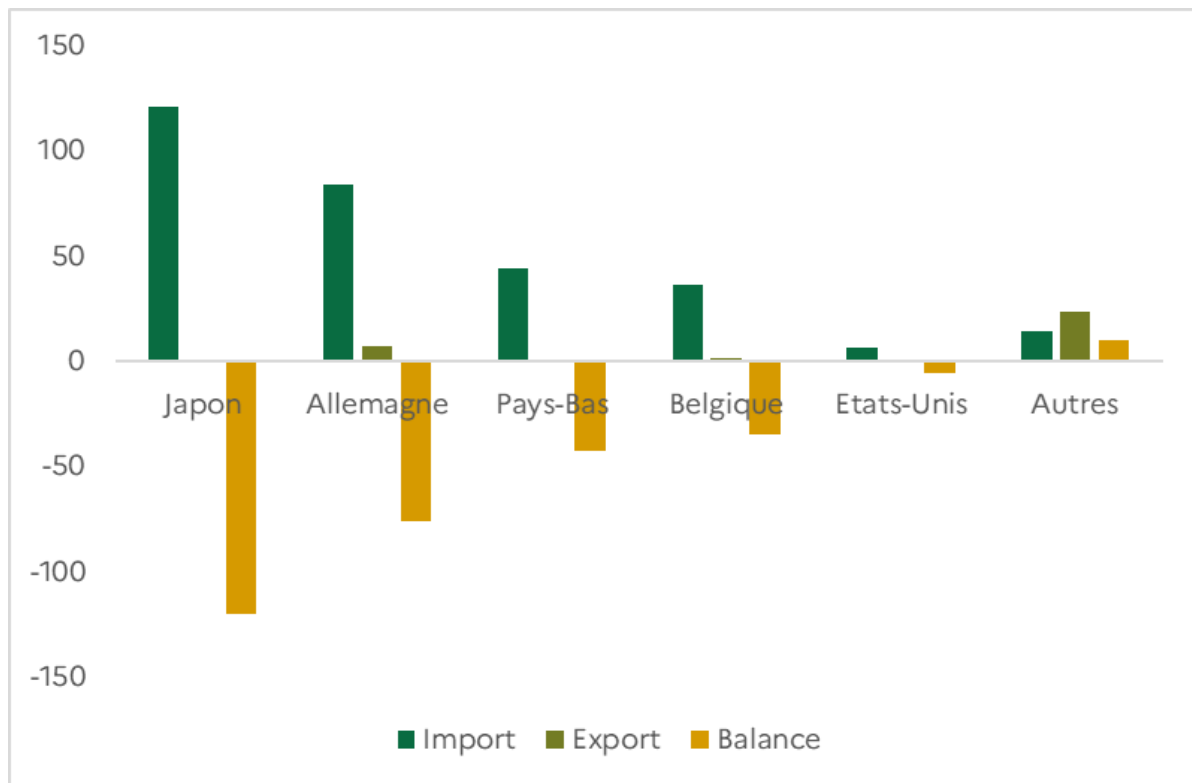
<sup>21</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021 ; *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>22</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>23</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

## Annexe V

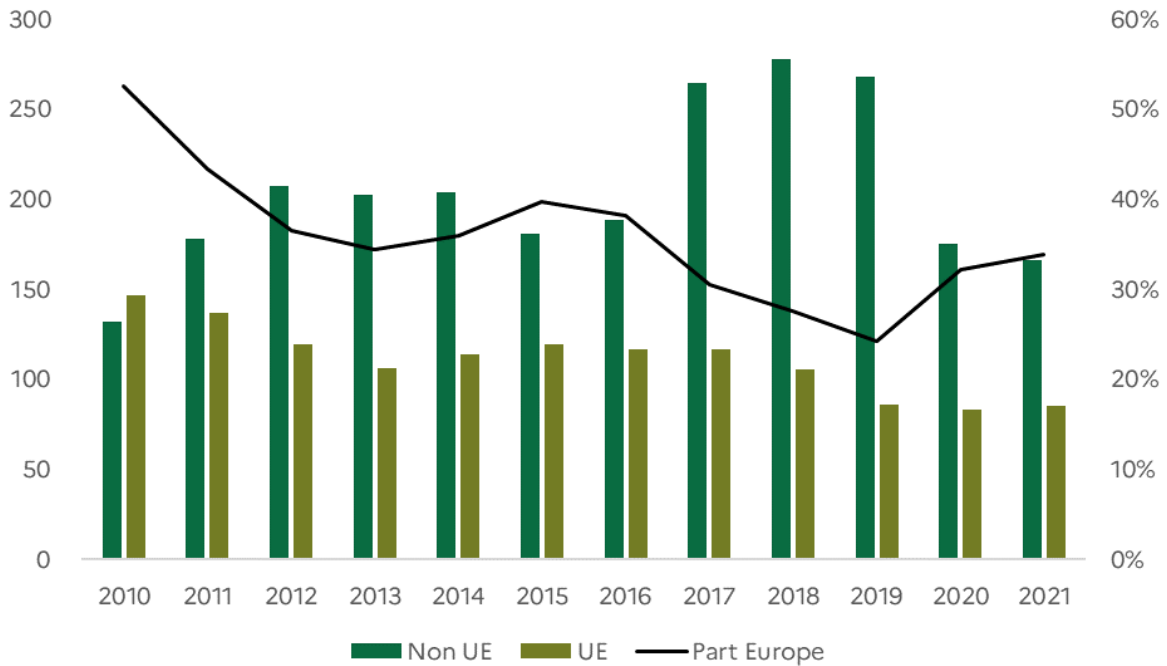
Graphique 3 : Balance commerciale de la France, 2022, en M\$ (intrants)



*Source* : Données BACI, champs des codes produits retenus<sup>24</sup> : 370130, 370199, 370790.

<sup>24</sup> Champ retenu dans : P. Bonnet, A. Ciani. (2023) : « Applying the SCAN methodology to the Semiconductor Supply Chain », *JRC Working Papers in Economics and Finance*, n° 2023/8.

**Graphique 4 : Importations en intrants pour plaquettes en M\$ par les entreprises françaises et part d'importations issues de l'Union européenne**



*Source* : DGDDI, DOU-ENQ, calculs pôle sciences des données de l'IGF.

*Note de lecture* : Axe de gauche, importations en M\$, bâtons verts ; axe de droite, part d'importations européenne en pourcentage, trait noir.

Le suivi des importations et les exportations en intrants sur la dernière décennie (cf. graphique 4)<sup>25</sup> permet de mettre en avant la diminution de la part d'importations d'origine européenne dans le volume d'importation total. **En tendance, la dépendance française vis-à-vis de l'étranger et notamment du Japon sur le segment des intrants a donc augmenté sur cette période.**

**L'analyse de la dépendance sur les intrants par le suivi des échanges commerciaux présente trois défauts principaux : un défaut d'exhaustivité, un défaut de criticité et un probable défaut de comptabilisation.**

- ♦ cette méthode ne permet *a priori* pas d'être exhaustif dans la mesure où les intrants identifiés sont ceux entrant directement dans le process de fabrication des semi-conducteurs, notamment au moment de la fonderie : masques, résines etc. En l'absence de base de données permettant de suivre finement les intrants entrant dans la chaîne de fabrication d'un composant électronique donné, il n'est pas possible de remonter la chaîne de valeur et de déterminer le niveau de dépendance vis-à-vis d'intrants de second ou troisième rang<sup>26</sup>. De ce fait, certains intrants entrant dans la fabrication des machines (lasers par exemple) ne sont pas intégrés dans la classification proposée ;

<sup>25</sup> P. Bonnet, A. Ciani. (2023) : « Applying the SCAN methodology to the Semiconductor Supply Chain », *JRC Working Papers in Economics and Finance*, n° 2023/8.

<sup>26</sup> Utilisé de façon indirecte, non pas pour produire les semi-conducteurs mais pour faire fonctionner des machines qui serviront à produire des semi-conducteurs, ou pour produire des intrants directs.

## Annexe V

- ◆ le suivi des importations ne fait par ailleurs pas la différence entre les intrants substituables et les autres : certains composants chimiques peuvent être remplacés (avec un surcoût soit économique soit en termes de qualité) par d'autres produits, tandis que d'autres intrants ne sont pas substituables. Pour ces derniers, la dépendance est critique (*cf. 2.1*) et risque d'impacter l'ensemble de la chaîne aval en cas de rupture. Là encore, il ne semble pas exister d'étude permettant d'établir la liste exhaustive des intrants critiques pour l'industrie des semi-conducteurs ;
- ◆ probable défaut de comptabilisation : dans certains cas, les importations ou exportations indirectes (*via* des pays tiers, notamment ceux disposant de grands ports maritimes) peuvent agir comme un écran masquant l'origine véritable des produits. Cet effet pourrait être à l'origine d'une partie des importations comptabilisées pour le compte de la Belgique et des Pays-Bas, du fait des ports d'Anvers et de Rotterdam.

Le cas du néon constitue un bon exemple illustrant les limites de l'approche adoptée. En 2014 puis en 2022, les attaques de la Russie en Crimée puis en Ukraine ont mis en lumière l'usage de ce gaz dans le fonctionnement des machines de photolithographie extrême ultraviolettes, machines elles-mêmes nécessaires pour produire l'ensemble des puces avancées au niveau mondial. Or, ce gaz n'apparaît pas dans la nomenclature utilisée puisqu'il constitue un intrant de second rang ; par ailleurs, l'Ukraine n'est pas identifiée comme un acteur majeur sur la chaîne de valeur et le marché du néon est économiquement non significatif (en volume) relativement au marché de l'électronique. Pourtant, la rupture dans la chaîne du néon, intrant non substituable de second rang, peut impacter l'ensemble de la filière électronique aval.

### 1.1.3. Si l'Europe dispose d'un actif stratégique sur le segment des machines-outils, les États-Unis et le Japon comprennent également des acteurs majeurs sur ce segment

Les machines-outils constituent des actifs indispensables à la production de composants électroniques, et ce sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Les principales étapes nécessitant l'usage de machines dédiées sont les suivantes<sup>27</sup> :

- ◆ fabrication des plaquettes en silicium de qualité électronique : la production de plaquette (silicium cristallisé de très haute pureté découpé en lamelles) nécessite de recourir à des équipements spécifiques : lasers, scies, matériel de polissage ;
- ◆ fonderie : plusieurs types d'équipements sont utilisés pendant la phase de fonderie. Les machines de dépôt permettent de réaliser des dépôts successifs de matériaux sur la plaquette en silicium brut. Après apposition d'un masque, les machines de photolithographie permettent quant à elles de réaliser des « gravures » sur les dépôts ainsi constitués. En fonction du niveau de gravure visé, différents types de machines de photolithographies sont utilisées<sup>28</sup>. D'autres machines sont utilisées pour enlever les matériaux déposés sur la plaquette (*etch equipment*), soit grâce à des plasmas ou des réactions ioniques (gravure sèche), soit grâce à des solvants (gravure humide).
- ◆ assemblage, test et emballage : les industries *back end* nécessitent également de recourir à des équipements spécialisés : microscopes, sondes, matériel électrique lors de la phase de test ; machines de découpe et d'assemblage pour la phase finale de *packaging*.

---

<sup>27</sup> *Semiconductor manufacturing equipment*, Rapport de la United States international trade commission, publication 3868, juin 2006.

<sup>28</sup> Les niveaux de gravure les plus fins nécessitant de recourir à des rayonnements ultraviolets de haute énergie.

**En 2018, quatre entreprises principales produisaient des machines-outils destinées à la fabrication de semi-conducteurs** : Applied Materials, Tokyo Electron, Lam Research et ASML. Elles détenaient chacune entre 12 % et 17 % de parts de marchés, pour un total de près de 60 %<sup>29</sup>. Signe de la consolidation en cours, la part de marché des dix plus grosses entreprises produisant des machines est passée de 58 % à 69 % entre 2004 et 2018, soit une progression de 11 %. Sur chacun de leur segment de spécialité, les quatre majors détiennent plus de 50 % de part de marchés : le marché des équipements de dépôt en phase vapeur est dominé par l'entreprise Applied Materials ; celui des machines permettant de retirer les dépôts est dominé par Lam Research. L'entreprise Tokyo Electron est présente sur ces deux segments. **L'entreprise ASML est quant à elle dominante sur le segment des machines de photolithographie, et actuellement en position de monopole sur les machines à rayonnement ultraviolet extrême (EUV)**, nécessaires pour produire les composants logiques avancés. Enfin, l'entreprise KLA Tencor est dominante sur le segment des machines de test.

**Cette spécialisation des entreprises sur un segment spécifique et cette consolidation globale du marché a pour corollaire une forte concentration géographique des savoir-faire entre les États-Unis, le Japon et les Pays-Bas.** En 2018, ces trois pays représentaient ainsi plus de la moitié des exportations d'équipement au niveau mondial<sup>30</sup>. Le point le plus critique pour l'ensemble de la chaîne semble être l'entreprise ASML, qui dispose d'un savoir-faire unique et difficilement reproductible sur un segment critique. En effet, les machines de photolithographie EUV qu'elle est actuellement la seule à produire sont indispensables pour fabriquer des composants logiques avancés qui sont eux même nécessaires pour produire des smartphones, des ordinateurs et des datacenters. Elles sont donc également positionnées en aval de la chaîne de valeur permettant de produire des puces GPU nécessaires à l'entraînement des modèles d'intelligence artificielle contemporains. Sous l'effet des mesures de contrôle export américaines (cf. annexe VI), la Chine est actuellement le seul pays qui tente de dupliquer ce savoir-faire, ce qui pourrait prendre entre cinq et dix ans selon les sources. Les principaux savoir-faire sur les autres segments, bien que concentrés, semblent partagés entre au moins deux entreprises dans deux zones géographiques (États-Unis et Japon).

---

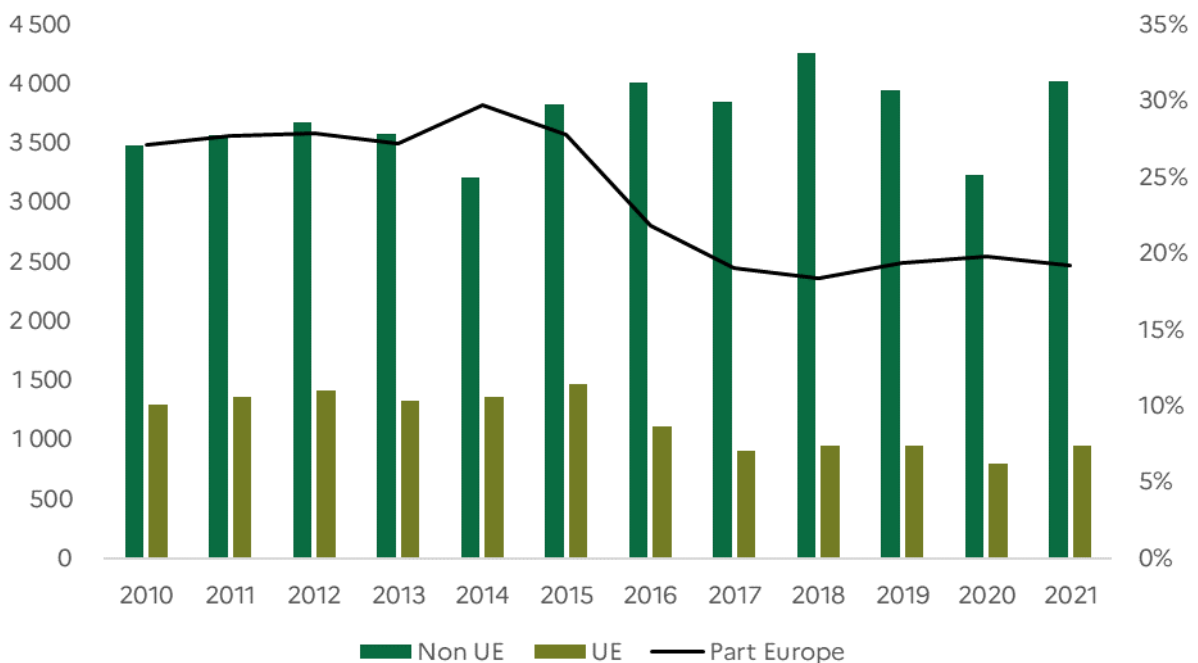
<sup>29</sup> J. VerWey, (juillet 2019) : « The health and competitiveness of the U.S. semiconductor manufacturing equipment industry », *Office of industries, working paper ID-058*,

<sup>30</sup> *Ibid.*

## 1.2. En aval de la chaîne de valeur, la dépendance des industries intégrant des composants électroniques varie en fonction des secteurs

En aval de la chaîne de valeur, les industries françaises importent des composants électroniques, essentiellement sous forme de produits finis<sup>31</sup>. Du fait de la délocalisation du segment de l'assemblage, du test et de l'emballage, principalement en Asie<sup>32</sup> (*back-end* de la chaîne de production des composants électronique), les produits finis sont en majorité importés depuis des pays situés hors Europe (à plus de 80 % en 2021, cf. graphique 5). Les principaux pays fournisseurs de la France sont Taiwan, l'Allemagne, la Malaisie, et la Chine (cf. graphique 6). Par ailleurs, la part d'importations européennes dans les importations totales de produits finis est en diminution sur la décennie 2010-2020, passant de 30 % à 20 %.

**Graphique 5 : Importations de produits finis par les entreprises françaises en M\$, et part d'importations issues de l'union européenne**



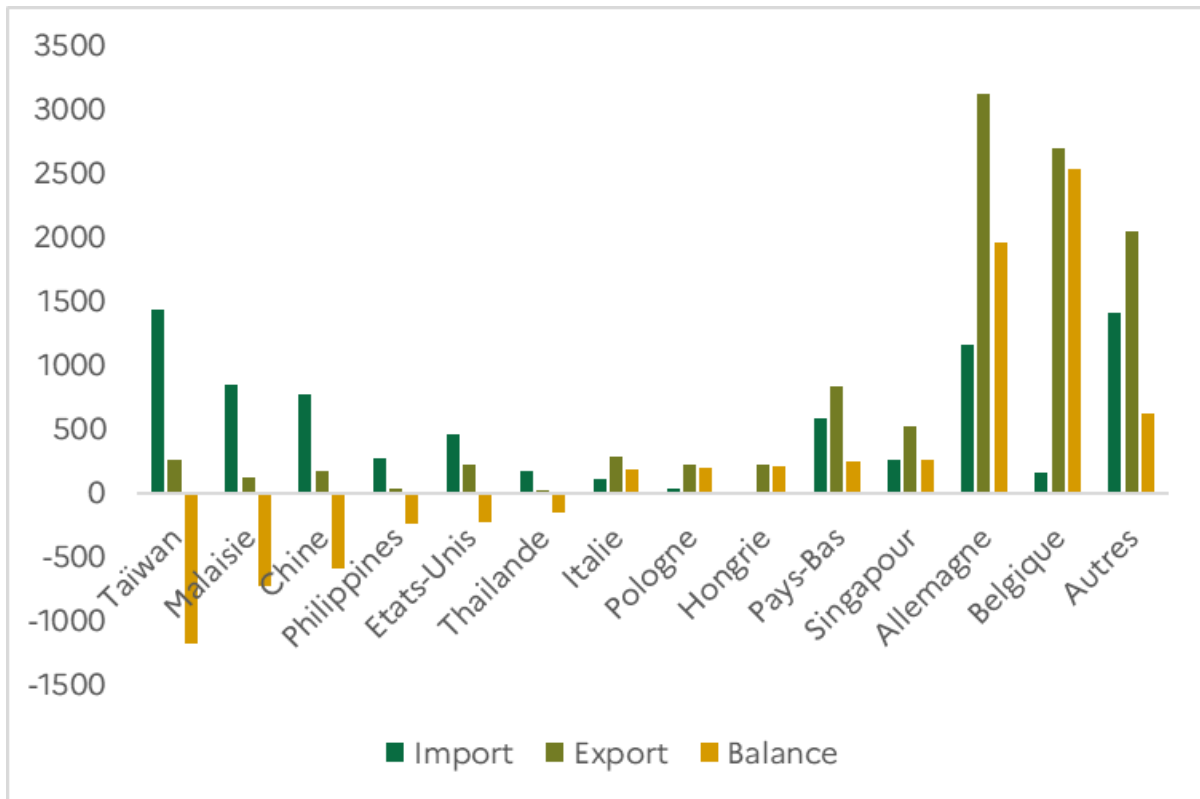
*Source* : DGDDI, DOU-ENQ, calculs pôle sciences des données de l'IGF.

*Note de lecture* : Axe de gauche, importations en M\$, bâtons verts ; axe de droite, part d'importations européenne en pourcentage, trait noir.

<sup>31</sup> Champ des produits finis retenus dans : P. Bonnet, A. Ciani. (2023) : « Applying the SCAN methodology to the Semiconductor Supply Chain », *JRC Working Papers in Economics and Finance*, n° 2023/8, et complété par l'ensemble de la classe 8541.

<sup>32</sup> Mais également dans des pays plus proches comme Malte ou le Maroc

Graphique 6 : Balance commerciale de la France, 2022, en M\$ (produits finis)



*Source : Données BACI, champs des codes produits retenus : 852351, 852352, 852359, 852390. Tout 8541 et 8542.*

**La balance commerciale de la France sur le segment des produits finis est néanmoins excédentaire en 2022, ce qui relativise notre éventuelle dépendance vis-à-vis de tiers extra européens.** La balance est tirée notamment par l'excédent en direction de l'Allemagne et de la Belgique. Ce dernier excédent pourrait être lié à des transferts internationaux via le port d'Anvers ; de ce fait, les déficits commerciaux vis-à-vis des pays asiatiques sont sujets à caution. Ces volumes importants d'imports comme d'exports, parfois sur une même catégorie de la nomenclature douanière, sont probablement liés à la spécialisation horizontale des acteurs.

### 1.2.1. Les savoir-faire des fabricants domestiques concernant la production de composants utiles au secteur automobile ont été préservés, mais certaines étapes de la chaîne de valeur ont été délocalisées

**En micro-électronique, les industriels français et européens ont conservé un savoir-faire en termes de production (design et fonderie) aligné avec les besoins aval des constructeurs automobiles.** La demande exprimée par les constructeurs est actuellement partagée entre deux segments : composants logiques d'une part et composants analogiques et capteurs d'autre part. Sur le segment des puces logiques, les puces matures (>28 nm) constituent l'essentiel des besoins<sup>33</sup>. Les mémoires représentent quant à elle moins de 10 % de la valeur des composants électroniques consommés par l'industrie automobile<sup>34</sup>. L'automobile constitue le secteur aval pour lequel les capacités de conception et de production sont actuellement les mieux alignées avec les besoins domestiques. Certains facteurs de dépendance sont néanmoins identifiés sur cette chaîne :

- ◆ intrants et logiciels de conception : la production de plusieurs intrants essentiels à la fabrication de semi-conducteurs (photo-masques, intrants chimiques, plaquettes) est très concentrée géographiquement, parfois dans un seul pays voire une seule entreprise (exemples des photo-masques au Japon ou du néon en Ukraine). De même, les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) constituent une spécialité américaine. Ces dépendances au niveau des intrants sont fortes dans la mesure où la plupart des intrants sont non substituables, et issus de pays non européens ;
- ◆ assemblage, test et packaging<sup>35</sup> : l'Europe dispose de capacités limitées sur le segment aval de la chaîne de production. Les composants produits localement doivent donc nécessairement transiter par un intermédiaire, en général en Asie, avant d'être livrés aux clients finaux. Les entreprises spécialisées dans la production back end sont néanmoins relativement nombreuses et situées dans plusieurs pays, ce qui limite le niveau de dépendance<sup>36</sup>. Par ailleurs, STMicroelectronics a conservé un savoir-faire en la matière et dispose de sites de production proches de l'Europe, notamment au Maroc et à Malte, voire en France sur certains segments spécialisés<sup>37</sup> ;
- ◆ composants passifs (résistances, inductances et condensateurs) : ces composants sont utilisés dans l'industrie automobile et aéronautique dans les circuits de gestion d'énergie et de filtrage du signal. Ils sont également souvent associés à des composants électroniques de puissance. Ce marché est dominé par Taïwan et le Japon. Les entreprises japonaises sont en situation de quasi-monopole sur certains sous-segments (condensateurs électrolytiques par exemple)<sup>38</sup>. Les acteurs français sont spécialisés sur certains marchés de niche (composants passifs pour les environnements sévères à destination des industries critiques, Exxelia et SRT Microcéramique) ou intégrés à des groupes internationaux (la société japonaise Murata établie à Caen).

---

<sup>33</sup> Plus de 90 % des puces logiques utilisées par Renault, dont la moitié sur des niveaux >40nm.

<sup>34</sup> *Analysis of semiconductor market by application as well as supply and demand*, Rapport IBS, avril 2024.

<sup>35</sup> *Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020.

<sup>36</sup> En 2022, la Chine et Taiwan possédaient 57% de parts de marchés sur ce segment (*Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, mai 2024, figure 13)

<sup>37</sup> Site de Rennes dédié aux applications spatiales ou souveraines (*Dépendances et vulnérabilités de l'Europe sur la chaîne de valeur électronique*, Note de la DGE, novembre 2020).

<sup>38</sup> Composants passifs.

**Cet alignement entre les capacités de production et les besoins des industries automobiles pourrait être perturbé par des évolutions tant sur le plan de l'offre que la demande.** Sur le marché des composants matures, l'offre évolue rapidement avec la montée en compétence des entreprises chinoises sur le segment de microcontrôleurs et des composants analogiques<sup>39</sup>. Touchée par les mesures de contrôle-export américaines qui ralentissent leur rattrapage technologique sur le segment des puces avancées, la Chine a fortement investi dans le développement de capacités de production sur le segment des puces matures (*cf.* Annexe VI). L'augmentation capacitaire qui en résulte doit permettre de servir la hausse de la demande domestique liée au développement de l'industrie locale (notamment automobile), mais risque de déborder sur le marché européen en cas de surplus de production. Si les constructeurs automobiles français et européens font aujourd'hui appel à Infineon, NXP et STMicroelectronics (entre autres partenaires), ils pourraient à l'avenir se tourner préférentiellement vers des producteurs chinois pour leur approvisionnement en composants électronique, pour des raisons tout autant économiques (prix) que stratégiques (ouverture du marché chinois par exemple).

**Dans un contexte de mutation du marché de l'automobile, en transition vers les véhicules électriques et autonomes, la demande en composants électroniques est fortement croissante.** Alors que la demande en composants logique fins (<10 nm) et mémoires est actuellement peu importante dans ce secteur<sup>40</sup>, il est probable que la situation évolue pour permettre d'embarquer des systèmes d'intelligence artificielle de plus en plus perfectionnés capables de traiter en temps réel les flux de données issus des différents capteurs. Les besoins en composants de puissance devraient également fortement augmenter pour permettre l'électrification des blocs moteurs. Du fait de ces évolutions dans l'offre et la demande de composants électroniques, l'alignement actuellement constaté ne pourra être préservé que si les capacités de production se transforment en même temps que les besoins, et qu'elles restent compétitives vis-à-vis de l'étranger.

---

<sup>39</sup> *Analysis of Chinese semiconductor market*, Rapport IBS, août 2024.

<sup>40</sup> À titre d'exemple, les véhicules de la marque Renault embarquent en moyenne 650 € de composants électroniques : 250 € pour les véhicules *low cost*, près de 2 000 € pour les véhicules haut de gamme. Sur la soixantaine de puces nécessaires, 95 % sont des puces matures (> 28 nm), et seulement 5 % des puces avancées (5 nm, fournies par l'entreprise américaine Qualcomm).

### 1.2.2. Le maintien d'un savoir-faire domestique en termes de conception et de fonderie de composants matures constitue une garantie de souveraineté pour l'industrie de défense

Dans le secteur de la défense, les technologies matures sont actuellement privilégiées, notamment du fait des normes de fiabilité imposées par les donneurs d'ordre. Les besoins sont donc globalement alignés avec les capacités de production domestiques<sup>41</sup>, sans qu'il soit possible de quantifier dans le cadre de la mission la part de composants électroniques issus de moyens de production français ou européens au sein des systèmes d'armes français. En cas de choc sur la chaîne de valeur, le maintien de ces moyens de production localement<sup>42</sup> permet également d'envisager de rapatrier la production nécessaire à l'effort de défense sur le sol national ou européen. Dans ce cadre, l'entreprise STMicroelectronics constitue un actif clef de résilience pour la France.

Si les fabricants de systèmes d'armement se fournissent essentiellement sur le marché de l'électronique civil, **des compétences propres sont également maintenues sur des technologies jugées essentielles de par leur intérêt militaire et leur non substituabilité** avec des composants civils. En France, trois technologies considérées comme sensibles sont entretenues exclusivement pour des besoins militaires, et financées par de la commande publique du ministère des armées (cf. annexe III) :

- ◆ [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

**La France est en revanche dépendante d'acteurs étrangers pour son approvisionnement en composants logiques avancés et en mémoires, dont l'usage est croissant dans le domaine de la défense.** Ces composants sont conçus par des acteurs américains, dont certains sont en situation de monopole sur des segments critiques (notamment Nvidia sur les puces GPU), et produits essentiellement à Taiwan par l'entreprise TSMC. Les machines de photolithographie EUV de l'entreprise hollandaise ASML constituent le seul actif européen sur la chaîne de valeur des composants avancés. Ces composants logiques avancés sont notamment critiques pour déployer les supercalculateurs à usage militaire, qui constituent eux-mêmes un prérequis au déploiement de l'IA de défense. Au mois d'octobre 2024, le marché pour le nouveau supercalculateur militaire a ainsi été remporté par un consortium composé de l'américain Hewlett Packard et du français Orange contre l'équipementier historique Atos, sur la base de puces GPU fournies par Nvidia<sup>43</sup>. Cette dépendance vis-à-vis des États-Unis constitue un facteur de vulnérabilité important dans le cadre de la production de systèmes à usage militaire, soumis à la réglementation extraterritoriale ITAR (cf. Annexe III, encadré 2).

---

<sup>41</sup> Avec les réserves exprimées ci-dessus sur la dépendance aux intrants et aux industries d'assemblage, de test et de packaging.

<sup>42</sup> En particulier, l'entreprise STMicroelectronics a conservé des savoir-faire aussi bien dans le champ du design que de la fonderie sur une large partie du spectre : composants logiques (>28nm), composants analogiques, capteurs et dans une moindre mesure mémoires.

<sup>43</sup> M. Cabirol, (3 octobre 2024) : « Supercalculateur « IA militaire » : le tandem HP-Orange en passe d'écarter Atos », *La tribune*.

### 1.2.3. La France et l'Europe sont en situation de dépendance critique sur le segment des composants logiques avancés, vecteurs de croissance dans les domaines des télécommunications et de l'intelligence artificielle

Depuis que l'entreprise STMicroelectronics a abandonné la course au More Moore (dans les années 2010, à la technologie 28 nm), **l'Europe ne dispose plus de capacités de conception et de production sur les composants logiques et les mémoires avancés**. Ces composants sont notamment utilisés pour produire des smartphones, des ordinateurs et des datacenters.

Contrairement aux marchés automobiles et industriels, l'Europe ne dispose plus d'industrie aval positionnée sur le segment des smartphones. La demande européenne est donc résiduelle et il n'existe pas de dépendance directe vis-à-vis des producteurs de composants logiques et mémoires avancés sur le marché des smartphones. En revanche, il existe une forte dépendance un cran plus bas dans la chaîne de valeur, au niveau du consommateur. En effet, les smartphones sont devenus des biens de consommation courante et les principaux fabricants sont extra-européens (Apple aux États-Unis, Samsung en Corée, Huawei en Chine)<sup>44</sup>.

Bien que ne produisant pas directement de *smartphone*, la France reste présente sur la chaîne de valeur à (au moins) deux niveaux :

- ◆ l'entreprise STMicroelectronics produit sur le site de Crolles un certain nombre de capteurs et d'imageurs (capteur photo, capteur de proximité, reconnaissance faciale) qui sont notamment intégrés dans les téléphones produits par l'entreprise Apple. Bien que d'une criticité moindre que les composants logiques et mémoires avancés car constituant des périphériques du téléphone, les capteurs sont présents dans tous les smartphones de nouvelle génération. La vente des imageurs représente par ailleurs un chiffre d'affaires conséquent pour l'entreprise STMicroelectronics<sup>45</sup> ;
- ◆ l'entreprise Soitec réalise 67 % de son chiffre d'affaires en 2023 sur le marché des smartphones (731 M€ sur un total de 1 089 M€)<sup>46</sup>. Elle produit notamment les substrats permettant aux antennes de fonctionner à haute fréquence sur la base de sa technologie RFSOI<sup>47</sup>. Ces antennes constituent des standards pour les appareils fonctionnant en 5G : il s'agit donc d'un **intrant critique sur lequel Soitec est leader pour l'industrie des téléphones sans fils à l'heure où la 5G s'impose comme la nouvelle norme en termes de télécommunication**. Soitec mène par ailleurs des travaux de recherche à moyen terme (horizon 2030) pour développer des substrats pour des antennes compatibles<sup>48</sup> avec des fréquences encore plus élevées pour satisfaire les besoins éventuels de la future génération 6G.

---

<sup>44</sup> V. Fagot, (17 janvier 2024) : « Apple devient numéro un mondial des smartphones et détrône Samsung », [Le Monde](#)

<sup>45</sup> 34 % du CA réalisé en 2024 l'a été sur le segment des équipements de communication et de l'électronique personnelle, dont le champ est néanmoins plus large que celui des smartphones stricto sensu (Présentation STMicroelectronics, juillet 2024, page 33).

<sup>46</sup> *Expanding our sustainable value creation ambition*, Présentation Soitec, p 133, 8 juin 2023.

<sup>47</sup> RFSOI : Radiofrequency silicium on insulator.

<sup>48</sup> Technologie composite InP.

## Annexe V

Le niveau de dépendance de la France et de l'Europe vis-à-vis des acteurs étrangers est plus élevé et plus critique sur le segment de l'informatique et notamment de l'informatique haute performance et des *datacenters*. Les principaux concepteurs et fabricants de puces logiques et mémoires avancées sont américains et asiatiques (*cf.* annexe III) ; les concepteurs et fabricants d'ordinateurs sont concentrés aux États-Unis<sup>49</sup> (HP, Dell, Apple), à Taiwan (Acer, Asus), en Chine (Lenovo) et en Corée (Samsung) ; les principaux fabricants et gestionnaires de datacenters sont essentiellement américains (Dell, HP, Cisco, IBM, Microsoft, Google, Amazon) et dans une moindre mesure chinois (Huawei). **Cette dépendance peut être considérée comme critique dans deux domaines :**

- ◆ l'intelligence artificielle (IA) est un domaine émergent en forte croissance, qui nécessite des capacités de calcul très importantes pour entraîner les modèles (*cf.* annexe III). En général, les entreprises spécialisées en IA n'investissent pas directement dans des capacités de calcul mais préfèrent louer des capacités de calcul auprès de plateformes *cloud* spécialisés (AWS, Azure, Google notamment). En effet, les besoins en calcul n'étant pas constants et les investissements très importants, les moyens informatiques sont mutualisés pour optimiser l'utilisation des machines. La disponibilité de datacenters accessibles pour les entreprises constitue donc une condition au développement de start-ups en IA. Dans ce cadre, les entreprises européennes sont dépendantes des facilités offertes par les principales infrastructures américaines sur le cloud, elles-mêmes dépendantes de la fourniture de puces GPU par l'entreprise américaine Nvidia qui est en situation de quasi-monopole sur ce segment<sup>50</sup> ;
- ◆ cette dépendance comporte un niveau de criticité encore plus élevé dans le domaine des supercalculateurs destinés à des usages sensibles, notamment sur le segment de la défense. Par nature, ces applications ne peuvent faire appel à des moyens de calculs ouverts (*cloud*) et nécessitent de disposer de moyens de calculs propres, si possible développés de façon domestique. Alors qu'Atos était le principal acteur français sur ce segment, le dernier appel d'offres de la DGA a été gagné par un consortium composé de l'américain Hewlett Packard et du français Orange, sur la base d'une architecture GPU fournie par l'américain Nvidia<sup>51</sup>.

---

<sup>49</sup> La production est en grande partie délocalisée en Asie.

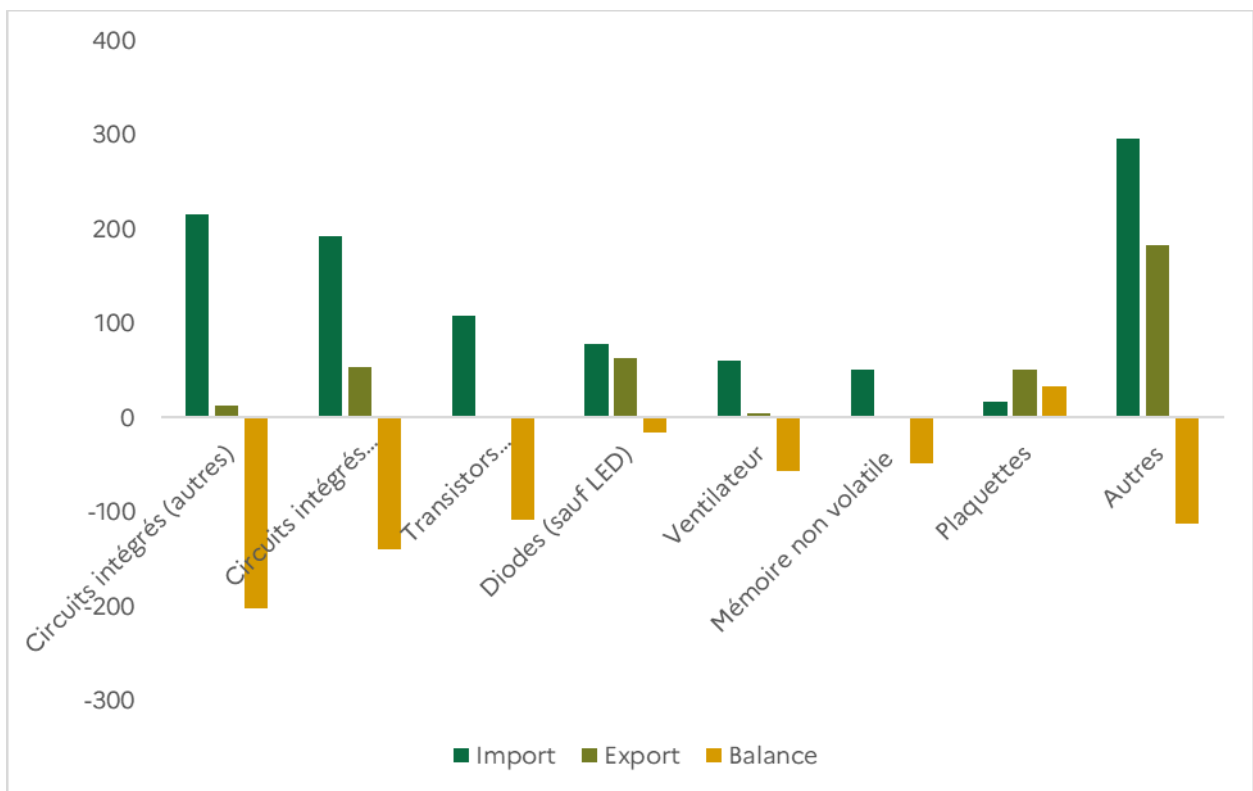
<sup>50</sup> De l'ordre de 90 % de parts de marchés sur le segment des accélérateurs, AMD et Intel se partageant le reste (*Second generative AI report 2024*, Rapport IBS, avril 2024).

<sup>51</sup> M. Cabirol, (3 octobre 2024) : « Supercalculateur « IA militaire » : le tandem HP-Orange en passe d'écarter Atos », *La tribune*.

### 1.3. Les industriels français ont partiellement intégré une stratégie de *derisking* envers la Chine, qui reste néanmoins un marché un important et constitue de ce fait un facteur de risque au niveau de la demande

La Chine, en tant que premier ou second marché au niveau mondial<sup>52</sup>, constitue un débouché potentiel important pour les producteurs européens de semi-conducteurs. Une éventuelle dépendance vis-à-vis de la demande chinoise constitue un facteur de risque pour les entreprises européennes au même titre qu'une dépendance en termes d'intrants ou de produits. Dans le contexte géopolitique actuel entre la Chine et les États-Unis, cette dépendance peut être à l'origine de fragilités importantes : l'entreprise ASML a par exemple été contrainte de se retirer brutalement du marché chinois pour freiner leur développement technologique.

Graphique 7 : Balance commerciale vis-à-vis de la Chine par type d'intrant ou de composants électroniques, en M\$.



Source : Données BACI, champs des codes produits retenus :

280461 ; 282560 ; 284920 ; 285000 ; 370130 ; 370199 ; 370790 ; 381800 ; 811299 ; 841459 ; 841950 ; 842129 ; 842139 ; 842199 ; 848610 ; 848620 ; 848630 ; 848640 ; 848690 ; 852351 ; 852352 ; 852359 ; 853290 ; 854110 ; 854121 ; 854129 ; 854130 ; 854160 ; 854190 ; 854231 ; 854232 ; 854233 ; 854239 ; 854290 ; 900120 ; 900190 ; 900219 ; 900220 ; 900290 ; 901210 ; 901290 ; 903082 ; 903084 ; 903141

<sup>52</sup> Entre 24 % et 45 % du marché total (*Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021 ; *Analysis of Chinese semiconductor market*, Rapport IBS, août 2024).

## Annexe V

Au niveau des entreprises françaises, l'analyse de la balance commerciale bilatérale France-Chine sur les composants électroniques (cf. graphique 7) ne fait pas apparaître de dépendance majeure en termes de demande. Au contraire, en 2022, un déficit commercial est constaté sur l'ensemble des segments, à l'exception des plaquettes (excédent commercial de 33 M€). Cette même année, le déficit global vis-à-vis de la Chine s'élève à 665 M€. Ces chiffres sont néanmoins à relativiser, dans la mesure où la fiabilité des données à l'export est sujette à caution (les exports à destination de la Belgique pourraient notamment s'expliquer par le transit *via* le port d'Anvers) ; par ailleurs, les imports depuis la Chine pourraient en partie être des réimports, suite à un assemblage délocalisé sur des produits initialement produits en Europe.

Au niveau des entreprises chefs de file du programme Nano, STMicroelectronics et Soitec semblent être les entreprises les plus exposées sur le marché chinois :

- ◆ l'entreprise STMicroelectronics compte un seul acteur chinois (Huawei) parmi ses dix principaux clients contre quatre entreprises américaines (Apple, Hewlett Packard, SpaceX, Tesla). Début 2024, la région Asie Pacifique (incluant la Corée et Taiwan notamment) représente moins d'un tiers du chiffre d'affaires de l'entreprise<sup>53</sup>. Sur le plan de la demande, STMicroelectronics est donc plus exposée au marché américain et européen qu'au marché chinois. En termes d'implantation, elle ne comporte qu'un seul site industriel en Chine, dédié au *back end*.

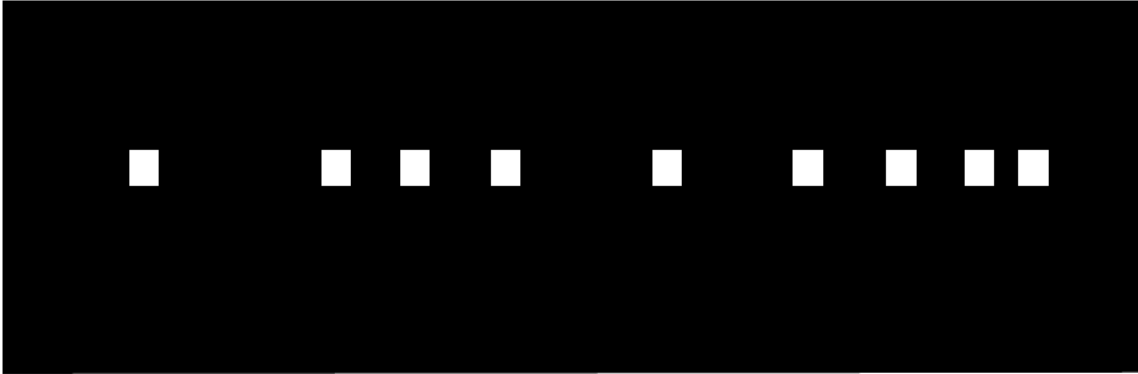


---

<sup>53</sup> Présentation STMicroelectronics, juillet 2024.

<sup>54</sup> « Semiconductor consumption in automotive applications is increasing rapidly in China. While foreign companies supplied a high percentage of semiconductors in the past, Chinese companies currently have a strong emphasis on building up the supply chains for semiconductors and other components in China, with good success in this arena ». (*Analysis of semiconductor chinese market*, Rapport IBS, août 2024)





- ◆ l'Asie constitue un débouché important pour l'entreprise Soitec, leader mondial sur le marché des plaquettes multicouches. Si les fonderies chinoises font partie de ses clients, les principaux débouchés asiatiques semblent se situer à Taiwan, en Corée et au Japon (TSMC, Samsung, SK Hynix, UMC, Sony). [redacted]
- ◆ la Chine semble être un partenaire de second rang des autres chefs de file. L'entreprise LYNRED, dont une part conséquente de la production est classée comme matériel de guerre, a fortement réduit ses exportations à destination de ce pays. Peu présente également sur le marché américain, elle réalise l'essentiel de ses ventes en Europe. Les partenariats entre le CEA et les entreprises chinoises ont également été réduits depuis la mise en place des sanctions américaines (partenariat avec Huawei notamment).



## 2. Le contexte d'instabilité géopolitique contribue à augmenter le niveau de vulnérabilité de la chaîne d'approvisionnement

### 2.1. La notion de souveraineté résulte du croisement entre les notions de dépendance, de vulnérabilité et de maîtrise des risques

**L'indépendance vis-à-vis de tiers en termes d'intrants et de capacités productives est une des composantes de la souveraineté technologique, mais ce n'est pas la seule.** Si la littérature académique peine à converger sur une définition unique, plusieurs facteurs sont fréquemment évoqués pour constituer la notion de souveraineté. Tout d'abord, il apparaît que la notion de souveraineté dérive historiquement de la capacité pour un État à prendre des décisions de façon autonome<sup>58</sup> (indépendance ou autonomie stratégique). Cette autonomie stratégique ne repose pas nécessairement sur une autonomie en termes de capacités productives, notamment dans le champ technologique : en effet, aucun État ne possède une maîtrise complète de la chaîne de valeur (autonomie de l'offre) ni un marché suffisant (autonomie de la demande) pour écouler sa production sur un marché fortement intégré horizontalement comme l'électronique<sup>59</sup>. L'autonomie stratégique renvoie plutôt à l'identification de **technologies clefs ou stratégiques, qu'il s'agit de préserver ou de développer localement, ou dont il est nécessaire de garantir l'approvisionnement en limitant les dépendances vis-à-vis de partenaires dont la fiabilité peut être mise en doute, et ce afin de préserver une liberté de choix**<sup>60</sup>.

De par son poids et son positionnement aval dans l'économie, la souveraineté technologique constitue aujourd'hui une composante à part entière de la souveraineté économique, voire un facteur participant à l'autonomie stratégique globale<sup>61</sup> d'un État. Réciproquement, les États disposant d'une autonomie stratégique globale liée à leur poids économique, leur influence internationale ou leur poids militaire seront plus susceptibles de garantir leur souveraineté *via* des stratégies partenariales ou de souveraineté partielle que les États structurellement non autonomes, car plus faibles sur la scène internationale.

---

<sup>58</sup> M. Bauer, F. Erixon, (février 2020) : « Europe's quest for technology sovereignty: Opportunities and pitfalls », *ECIPE occasional paper* ; F. Crespi, S. Caravella, M. Menghini and C. Salvator (2021) : « European Technological Sovereignty: An Emerging Framework for Policy Strategy », *Intereconomics*, vol 56, pp. 348-354.

<sup>59</sup> F. Crespi, S. Caravella, M. Menghini and C. Salvator (2021) : « European Technological Sovereignty: An Emerging Framework for Policy Strategy », *Intereconomics*, vol 56, pp. 348-354.

<sup>60</sup> *Ibid* ; J. Adler, K. Blind, H. Kroll, T. Schubert (2023) : « Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means », *Research Policy*, vol 52, n° 6.

<sup>61</sup> Capacité à rester indépendant dans ses choix stratégiques tout en évoluant dans un monde interconnecté.

**La notion de risque est souvent associée à celle de souveraineté**, conçue comme un moyen de maîtriser le risque. Ce risque peut être :

- ◆ industriel : dans un secteur fortement intégré horizontalement, cela renvoie notamment aux ruptures de chaînes d'approvisionnement qui peuvent impacter les industries aval, comme celles observées au moment de la pandémie de COVID ou de la guerre en Ukraine (cf. 2.2)<sup>62</sup> ;
- ◆ celui d'une perte d'autonomie stratégique (développement de technologies domestiques sans avoir besoin d'en référer à un État tiers par exemple qui pourraient décider de mesures de rétorsion), dans un contexte de remise en cause du cadre institutionnel global (notamment en termes de droit international du commerce) par la Chine et les États-Unis<sup>63</sup>.

Cette approche de la souveraineté permet d'appliquer la définition généralement admise du risque comme l'addition d'un aléa (événement qui peut être d'origine climatique, industriel ou politique, cf. 2.2 et 2.3, à l'origine de ruptures d'approvisionnements) et d'une vulnérabilité (**impact de la rupture d'approvisionnement**). Dans le cas du maintien de la chaîne de valeur électronique, la probabilité de l'aléa est fortement liée à la notion de dépendance examinée en partie 1, mais également à la qualité des partenariats et à la position d'un État vis-à-vis de ses partenaires<sup>64</sup>.

Inspirée par ces deux approches, la méthode d'analyse retenue pour évaluer le niveau de souveraineté de la filière des semi-conducteurs françaises dans le cadre du programme Nano consiste à **analyser à chaque étape de la chaîne de valeur le niveau de dépendance mais également la vulnérabilité associée à cette dépendance**.

---

<sup>62</sup> J. Jürgen, (2024): « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61.

<sup>63</sup> « Increasingly, a number of countries no longer compete within the existing international rules-based framework aimed at stabilising the existing framework of international exchange. Instead, there is a growing trend to question, challenge and game the international system with the aim of strengthening one's role in the global innovation system and gain a position of control. », (J. Adler, K. Blind, H. Kroll, T. Schubert (2023): « Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means », *Research Policy*, vol 52, n° 6)

<sup>64</sup> F. Crespi, S. Caravella, M. Menghini and C. Salvator (2021): « European Technological Sovereignty: An Emerging Framework for Policy Strategy », *Intereconomics*, vol 56, pp. 348-354.

## 2.2. Sous l'effet de récentes coupures dans les chaînes d'approvisionnement, les enjeux de souveraineté dans le domaine électronique connaissent un regain d'intérêt de la part des grandes puissances économiques

Le marché des semi-conducteurs est fortement intégré horizontalement, un nombre restreint d'entreprises maîtrisant chaque étape de la chaîne de valeur (cf. annexe III), ce qui crée une vulnérabilité structurelle (probabilité et impact important en cas de rupture). **Un aléa affectant une entreprise clef se répercute ainsi sur l'ensemble de la chaîne de production aval. L'impact de l'aléa est alors proportionnel à la valeur économique des produits finaux, et non pas à celle de l'industrie initialement touchée**<sup>65</sup>. Plusieurs épisodes historiques ont mis en lumière la fragilité de la chaîne d'approvisionnement vis-à-vis des aléas naturels, industriels et géopolitiques d'une part et l'effet multiplicateur sur l'économie globale d'autre part<sup>66</sup> :

- ◆ explosion d'une usine Sumitomo Chemical au Japon (1993) : l'explosion dans une usine au Japon a été à l'origine d'une pénurie de résine époxy qui a entraîné une forte hausse des prix de la mémoire DRAM aux États-Unis, passant en moins d'un mois de 30 à 80 dollars par mégabyte<sup>67</sup> ;
- ◆ tremblement de terre à Taïwan (1999) : le séisme a causé une coupure de courant, suspendant la production au parc scientifique de Hsinchu pendant six jours, ce qui a fait tripler les prix de la mémoire DRAM ;
- ◆ tremblement de terre et tsunami au Japon (2011) : le tremblement de terre, le tsunami et l'incident nucléaire de Fukushima ont entraîné des ruptures d'approvisionnement en peroxyde d'hydrogène de qualité électronique, et en plaquettes de silicium<sup>68</sup> ;
- ◆ tensions géopolitiques entre le Japon et la Corée du Sud (2019, cf. 2.3) : les restrictions japonaises sur les exportations de matériaux vers la Corée du Sud ont impacté environ 7 milliards de dollars d'exportations de semi-conducteurs par mois ;
- ◆ pandémie de COVID-19 (2020-2022) : la pandémie a provoqué des perturbations dans les chaînes d'approvisionnement, avec des fermetures temporaires d'usines et des retards de transport. La demande de semi-conducteurs a fortement augmenté en raison de la transition massive vers le télétravail et la hausse des ventes de produits électroniques. Cette demande accrue, combinée aux interruptions de production, a généré une pénurie mondiale de semi-conducteurs, impactant notamment le secteur automobile.

---

<sup>65</sup> L'attrition de l'offre se traduit tout d'abord par une augmentation du prix des produits concernés (cf. cas du néon dans le cadre de la guerre Russie Ukraine) ; en cas de rupture complète sur un produit essentiel, l'effet est en revanche fortement non linéaire dans la mesure où l'absence du produit considéré va empêcher la production de tous les produits à l'aval de la chaîne (cf. impact sur la filière auto pendant la crise COVID).

<sup>66</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021 .

<sup>67</sup> *Ibid* ; J. Stutman, (9 septembre 2013) : « Memory chip investing », [Energy and capital](#), consulté le 3 décembre 2024 ; L. Hill, (22 juillet 1993) : « Computer memory chip prices stabilize after factory fire sends them soaring », [UPI](#), consulté le 3 décembre 2024.

<sup>68</sup> *Ibid* ; T. Hattori, (18 avril 2011) : « Update from Japan: TEPCO's nuclear recovery roadmap, semiconductor materials shortage concerns », [Semiconductor digest](#), consulté le 3 décembre 2024.

### 2.3. Les tensions entre la Chine et Taiwan d'une part et entre les États-Unis et la Chine d'autre part sont à l'origine d'une augmentation du niveau de vulnérabilité sur la chaîne d'approvisionnement

À partir des années 2010, les aléas géopolitiques ont émergé comme des facteurs de risque potentiel pour la chaîne d'approvisionnement en semi-conducteurs<sup>69</sup>. Jusque-là, les industriels avaient essentiellement cherché à se prémunir contre les aléas d'origine naturelle en diversifiant leurs fournisseurs. Le risque géopolitique n'était pas identifié comme une menace majeure pour la chaîne de valeur. La situation a progressivement évolué dans les années 2010 et surtout 2020, avec l'émergence d'une rivalité multipolaire entre grandes puissances économiques<sup>70</sup>.

L'attaque russe en Crimée, bien qu'associant deux belligérants peu présents sur la chaîne de valeur, constitue le premier exemple d'aléa géopolitique ayant impacté la production de composants électronique. Ce conflit a mis en lumière certaines dépendances fortes vis-à-vis d'intrants présents très en amont de la chaîne de valeur. L'Ukraine s'est notamment révélé être un producteur majeur de néon de qualité électronique, à l'origine de 70 % de la production à l'époque, et d'environ 50 % en 2022. S'il s'agit d'un marché de niche (de l'ordre de 45 M\$ de chiffre d'affaires en 2022 au niveau mondial<sup>71</sup>), le néon constitue un intrant essentiel utilisé dans les lasers des machines de photolithographie ultraviolettes. La rupture de la fourniture en néon est donc susceptible de compromettre l'ensemble de la production de puces avancées au niveau mondial. Si la guerre n'a pas entraîné de ruptures complète d'approvisionnements à ce stade, le premier conflit en Crimée avait entraîné une augmentation de 600 % du cours du néon, deux des principales usines de production (Cryoin et Iceblick) étant situées à proximité d'Odessa<sup>72</sup>. De son côté, le Russie dispose également de part de marchés importantes sur des intrants de l'industrie des semi-conducteurs. C'est notamment le cas du palladium<sup>73</sup>, utilisé dans les condensateurs et pour assurer de bons contacts électriques, et dont la Russie est l'un des principaux producteurs<sup>74</sup>. Cette position lui permet d'influer directement sur les prix en jouant sur ses réserves.

---

<sup>69</sup> « Le risque géopolitique peut être défini comme toute menace, réalisation et escalade d'évènements associés avec la guerre, le terrorisme et toute tension entre états et acteurs politiques qui affectent les relations internationales. » (D. Caldara, M. Iacoviello (2022) : « Measuring geopolitical risk », *American Economic Review*, vol. 112, n° 4, pp. 1194-1225)

<sup>70</sup> M. Gilbert, N. Lang, (21 mai 2024) : « Geopolitical Risk Is Rising. Here's How CEOs Can Prepare », Boston consulting group.

<sup>71</sup> Taille, part, croissance de l'industrie du néon par type et par application, Rapport de [Business research insight](#), consulté le 19 novembre 2024.

<sup>72</sup> S. DeCarlo et S. Goodman, (avril 2022) : « Ukraine, Neon and semiconductors », *US international trade commission*.

<sup>73</sup> Taille du marché du palladium par produit, par application, par géographie, paysage concurrentiel et prévisions, Rapport de [Market reserch intellect](#), consulté le 19 novembre 2024.

<sup>74</sup> De l'ordre de deux tiers de l'offre mondiale en 2022 (S. DeCarlo, S. Goodman, (mai 2022) : « Russia palladium and semiconductors », *US international trade commission*).

## Annexe V

Dans ce contexte, la mission a évalué la vulnérabilité de la chaîne d'approvisionnement vis-à-vis des principaux aléas identifiés, et notamment les aléas d'ordre géopolitique. La probabilité et l'impact de chacun des aléas ont été estimés de façon qualitative sur une échelle allant d'un à quatre, sur la base des notes d'analyse fournies par les services économiques régionaux et des documents disponibles en source ouverte. **Le résultat de l'analyse développée *infra* est présenté de façon synthétique sous la forme d'une matrice des risques dans le tableau 1.**

L'escalade des tensions entre la Chine et les États-Unis<sup>75</sup> constitue à ce jour le principal facteur de risque identifié pour l'industrie électronique, ces deux acteurs étant fortement présents sur la chaîne de valeur. À ce jour, ces tensions ont accouché de mesures d'ordre commercial, avec des dispositifs de contrôle export et de contrôle des investissements entrants mis en place par les États-Unis, dont l'objet est explicitement de freiner le développement technologique chinois. En particulier, l'accès aux logiciels de conception américains (CAO) et aux machines de photolithographie hollandaises est fortement limité, ce qui pousse la Chine à réinternaliser des compétences sur une grande partie de la chaîne de valeur (*cf.* Annexe VI).

Alors que l'indicateur de tensions entre la Chine et les États-Unis (tableau 1) présente une tendance à la hausse sur le long terme, l'escalade pourrait se poursuivre dans les prochaines années selon plusieurs scénarii :

- ◆ **renforcement des mesures commerciales bilatérales (contrôle export et import, tarification douanière) :** l'arsenal commercial déployé par les États-Unis est déjà très développé, avec un ensemble de mesures de contrôle export de portée extraterritoriale. En retour et à mesure que la Chine développe ses capacités de production domestique, il apparaît probable que le marché chinois continue de se refermer aux producteurs américains et plus largement occidentaux de composants électroniques<sup>76</sup>. Même si le niveau d'exposition des entreprises françaises est limité (*cf.* 1.3), cela représente un manque à gagner certain dans la mesure où la Chine représente le premier ou second marché mondial derrière les États-Unis<sup>77</sup>. Les contremesures chinoises pourraient également intervenir dans des champs connexes sur lesquels la Chine dispose d'un avantage comparatif fort, par exemple les terres rares qui constituent des intrants importants pour plusieurs industries stratégiques (électronique, énergie, automobile)<sup>78</sup> ;
- ◆ **crise taiwanaise :** bien que non reconnue par la plupart des pays, la province de Taiwan est indépendante de la Chine depuis 1949. La Chine considère néanmoins que la réunification avec Taiwan doit être réalisée à terme, sans exclure le recours à la force armée pour y parvenir<sup>79</sup>. Dans ce contexte, les exercices militaires chinois ou des incursions dans le domaine aérien de Taiwan se multiplient depuis 2022<sup>80</sup>. Une réunification de la Chine et de Taiwan pourrait renverser totalement le rapport de force entre Chine et États-Unis dans le domaine des semi-conducteurs, l'entreprise TSMC étant le premier fondeur au niveau mondial et l'un des trois seuls à disposer de capacité de fonderie au niveau le plus avancé. Plusieurs entreprises américaines de premier plan sont des clients directs de TSMC (Apple, Nvidia par exemple). En 2022, Taiwan était également le premier partenaire de la France à l'import concernant les produits finis électroniques (*cf.* 1.2) ;

---

<sup>75</sup> L'indice de risque géopolitique développé par Dario Caldara et Matteo Iacovello montre une tendance haussière depuis les années 2000, marqué par des pics conjoncturels. L'indice est basé sur des recherches automatisées dans les archives électroniques de 10 journaux anglo-saxons. L'indice calcule, chaque mois, le nombre d'articles traitant des risques géopolitiques croissants, divisé par le nombre total d'articles publiés. (D. Caldara, M. Iacoviello (2022) : « Measuring geopolitical risk », *American Economic Review*, vol. 112, n° 4, pp. 1194-1225).

<sup>76</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

- ◆ **réduction significative des échanges en mer de Chine** : les capacités industrielles *back end* sont principalement localisées en Asie et Asie du sud-est (Chine, Taiwan, Malaisie, Philippines, Thaïlande). Une réduction des relations commerciales avec l'ensemble de la zone aurait donc des conséquences importantes sur la chaîne de valeur.

**Le conflit commercial latent entre le Japon et la Corée constitue le second facteur de risque identifié sur la chaîne de valeur.** Bien que les origines du conflit soient essentiellement régionales, ses implications sont globales du fait de la position particulière de la Corée sur le segment des mémoires.

En 2019, le Japon a mis en place un certain nombre de mesures de contrôle export à destination de la Corée sur fond de désaccord concernant les réparations post seconde guerre mondiale. Ces mesures visaient un millier de produits, dont trois intrants essentiels dans la chaîne de valeur des composants semi-conducteurs : le fluorure d'hydrogène (le Japon détient 70 % des parts de marché au niveau mondial), les polyimides fluorés et les résines photorésistantes (le Japon détient 90 % des parts de marché au niveau mondial). Ces restrictions ont un effet asymétrique lié à la prédominance japonaise dans la production de ces intrants et à leur caractère non substituable : s'ils ne représentent que 400 M\$ d'importations pour la Corée, ils conditionnent la production de 80 Mds\$ de composants électroniques<sup>81</sup>. Or, les entreprises coréennes détiennent des parts de marché majoritaires sur le segment des mémoires, utilisées dans l'ensemble des applications électroniques (smartphones, PC, datacenters, automobile), en aval de la chaîne.

Bien que les tensions bilatérales entre le Japon et la Corée du Sud sont moindres depuis 2020, le scénario d'une nouvelle escalade dans les mesures de restriction commerciales ne peut être écarté<sup>82</sup>. En effet, les causes originelles de la dispute de 2019 ne sont à ce jour pas réglées entre les deux pays ; par ailleurs, le Japon affiche sa volonté de regagner des parts de marché sur un segment autrefois de spécialité (l'électronique et plus spécifiquement les mémoires, cf. Annexe VI). Au vu du poids économique et géopolitique du Japon, la mise en place de mesures susceptibles de provoquer des ruptures dans la chaîne d'approvisionnement globale apparaît néanmoins peu probable.

---

<sup>77</sup> *ibid.*

<sup>78</sup> *ibid.*

<sup>79</sup> D. Brown, (7 mai 2022) : « Géopolitique : Chine-Taiwan, un guide très simple pour comprendre un conflit croissant », [Article BBC, consulté le 19 novembre 2024](#) ; AFP, (14 octobre 2024) : « Après des manœuvres militaires autour de Taïwan, la Chine affirme qu'elle ne renoncera « jamais » à l'option du « recours à la force » pour reconquérir l'île », [Article Le Monde, consulté le 19 novembre 2024](#).

<sup>80</sup> (19 août 2024). « Comment l'Europe se prépare à une crise taiwanaise », Les Échos.

<sup>81</sup> S. Goodman, D. Kim, J. Verwey, (1<sup>er</sup> octobre 2019) : « The South Korea Japan trade dispute in context : semiconductor manufacturing, chemicals, and concentrated supply chains », *Office of industries, working paper ID-062 ; Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

<sup>82</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

## Annexe V

**Tableau 1 : Matrice des risques de rupture de la chaîne d’approvisionnement européenne en composant électronique**

	Probabilité faible	Probabilité médiane	Probabilité forte	Probabilité très forte
Impact très fort	Risque naturel susceptible de bloquer l’ensemble de la chaîne de valeur	Crise significative (blocus, invasion militaire) à Taiwan		
Impact fort	Blocage des échanges commerciaux en mer de Chine		Risque naturel susceptible de restreindre temporairement l’accès à un intrant essentiel sur la chaîne de valeur	
Impact médian		Escalade dans le conflit commercial latent entre la Corée et le Japon		Renforcement des mesures commerciales entre les États-Unis et la Chine
Impact faible				

*Source : Mission.*

### 3. Dans un contexte d'interdépendance des acteurs au niveau mondial, deux stratégies de maîtrise des risques coexistent

#### 3.1. En matière de souveraineté technologique, les politiques publiques à déployer dépendent du niveau de développement sectoriel

Les politiques publiques visant à préserver ou renforcer la souveraineté technologique d'un État doivent être ciblées sur les technologies stratégiques. La dépendance commerciale (identifiable notamment *via* le déficit commercial) ne constitue ainsi pas un critère suffisant pour caractériser un bien stratégique : en revanche, elle constitue un facteur de vulnérabilité qui peut devenir critique si elle s'applique sur un bien stratégique et non substituable<sup>83</sup>. Plusieurs facteurs permettent en revanche<sup>84</sup> d'identifier les technologies ou industries qui peuvent être considérées comme stratégiques :

- ◆ technologies essentielles pour que l'État exerce ses fonctions régaliennes de façon autonome (sécurité, défense, justice) ;
- ◆ technologies qui supportent directement ou indirectement la croissance et la compétitivité économique d'un État ;
- ◆ technologies nécessaires pour atteindre les objectifs d'un État dans le cadre de transformations sociétales majeures (sociales, environnementales par exemple) ;
- ◆ technologies qui peuvent présenter un levier de pression géopolitique (armement par exemple).

**Ces facteurs s'appliquent pour tout ou partie de la chaîne de valeur de la production de composants électroniques, qui peut donc être considérée comme stratégique selon ces critères.** Les composants électroniques sont des intrants essentiels à l'industrie de défense (*cf.* 1.2.1) ; l'industrie des semi-conducteurs présente une croissance intrinsèque sur 30 ans de 7,5 % par an au niveau mondial (contre 5 % pour le PIB mondial), et pèse de l'ordre de 500 Md\$ de chiffre d'affaires en 2023. Elle irrigue par ailleurs des industries aval qui représentent une part importante de l'économie globale, dont certaines en forte croissance (par exemple l'intelligence artificielle, *cf.* annexe III) ; certains composants constituent des intrants importants pour mener la transition écologique projetée en Europe, qui constitue une évolution sociétale majeure. En particulier, les composants de puissance sont nécessaires pour développer les véhicules électriques dont l'usage doit se généraliser dans les dix prochaines années.

---

<sup>83</sup> J. Jürgen, (2024): « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61.

<sup>84</sup> *Ibid* ; J. Adler, K. Blind, H. Kroll, T. Schubert (2023): « Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means », *Research Policy*, vol 52, n° 6.

## Annexe V

En matière de technologies stratégiques, les politiques publiques de soutien qui peuvent être déployées rentrent dans trois catégories : **politiques d'innovation, politiques industrielles et politiques commerciales**. Au sein de chacune de ces catégories, les politiques adéquates diffèrent en fonction du niveau et de l'ambition de développement technologique, selon que la technologie domestique est à l'état de l'art, en phase de décrochage ou en phase de rattrapage<sup>85</sup> (cf. tableau 2) :

- ◆ maintien à l'état de l'art : le soutien des champs technologiques qui constituent des domaines de spécialité passe par des mesures non ciblées de soutien à la recherche et au développement. Le passage de la recherche fondamentale à la production industrielle peut être facilité par le renforcement des modes de collaboration entre le monde académique et le monde industriel. Le développement d'un marché de capitaux dynamique permet quant à lui de financer les projets industriels matures. Enfin, l'ouverture du commerce international donne accès à de nouveaux marchés aux technologies domestiques ;
- ◆ mitigation du décrochage : les domaines technologiques stratégiques en cours de décrochage doivent être identifiés et faire l'objet d'un soutien ciblé, tant en termes de politique industrielle (prêt, subvention aux entreprises en perte de vitesse) que commerciale (mesures défensives, notamment pour faire face à des mesures protectionnistes adverses) ;
- ◆ les politiques de rattrapage : sur les segments identifiés comme stratégiques et sur lesquels un retard est constaté, la puissance publique peut décider d'amorcer une stratégie de rattrapage (exemple du plan *Made in China 2025*, cf. Annexe VI). Dans ce cas, l'innovation ciblée dans le domaine visé doit être soutenue, ainsi que l'implantation d'industries naissantes *via* un appui financier (prêt, subvention) et une protection commerciale temporaire. L'implantation d'entreprises étrangères spécialisées grâce à une politique d'attractivité est de nature à accélérer le rattrapage.

**Tableau 2 : Politiques publiques en fonction du niveau technologique**

	Recherche et développement	Soutien industriel	Politiques commerciales
Frontière technologique	Soutien non dirigé à la R&D	Maintien d'une synergie entre les écosystèmes académiques, industriels, financiers	Politiques d'ouverture commerciale
Mitigation du décrochage	Soutien dirigé à la R&D, transfert vers les TRL élevés	Soutien des industries stratégiques en difficulté (prêt, subventions).	Protection des industries en difficulté
Rattrapage technologique	Soutien dirigé à la R&D, transfert vers les TRL élevés	Soutien des industries stratégiques en difficulté (prêt, subventions) ; attraction des entreprises spécialisées étrangères.	Protection des industries naissantes

Source : J. Jürgen, (2024): « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61.

<sup>85</sup> J. Jürgen, (2024): « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61.

En fonction de leurs moyens, de leur positionnement technologique, de leur stratégie et de leur ambition, les principaux pays producteurs de composants électroniques ont déployé l'une ou l'autre de ces politiques, ou des mix de ces politiques. Les pays qui n'ont pas les moyens d'assurer un niveau de souveraineté complet sur les technologies stratégiques s'emploient également à diversifier leurs approvisionnements pour tenter de limiter le niveau de dépendance et donc de vulnérabilité (cf. 3.2 et 3.3).

### 3.2. L'Europe privilégie une stratégie de souveraineté ciblée sur ses domaines de spécialité, abordable avec les moyens financiers qui sont les siens

**Les composants considérés comme stratégiques apparaissent en creux dans la stratégie déployée par l'Union européenne, sans être explicitement définis.**

Les thématiques ciblées dans le cadre du premier PIIEC (composants basse consommation, composants de puissance, semi-conducteurs composites, capteurs intelligents et équipements optiques avancés) constituent des domaines de spécialités, sur lesquels les entreprises européennes sont encore à la frontière technologique. Les outils de politique publique mis en œuvre correspondent à ceux qui sont généralement identifiés dans ce cadre (cf. tableau 2 et Annexe VI) : soutien à la R&D, synergie entre les systèmes économiques et industriels et ouverture commerciale. Le soutien des projets de première industrialisation, nouveauté du PIIEC 1, s'apparente à une volonté de créer une continuité entre recherche académique et développement industriel. En revanche, la synergie avec les acteurs financiers (fonds d'investissement, banques) n'a pas constitué un objectif explicite du plan. Par ailleurs, les subventions accordées ont été fléchées par les pouvoirs publics, il ne s'agit donc pas d'un soutien non dirigé à la R&D (qui peut exister de façon ponctuelle dans certains pays, à l'exemple du crédit d'impôt recherche en France).

Le *Chips Act* adopté en 2022 constitue un virage important de la stratégie européenne, **en ce sens qu'il amorce des politiques de soutien capacitaire (France) ou de rattrapage, notamment dans le domaine de la fonderie (Allemagne)**. Bien que cela ne soit pas explicite, il entérine le décrochage constaté sur certains segments de la chaîne de valeur électronique : les principales subventions sont ainsi attribuées par l'Allemagne à des entreprises étrangères (TSMC et Intel) pour réimplanter des compétences et des capacités de production dans le domaine de la fonderie avancée, sur lequel les entreprises européennes accusent un retard technologique d'une quinzaine d'années (technologie 28 nm pour STMicroelectronics). L'Europe (et notamment l'Allemagne qui finance ces projets) considère donc en creux que les composants logiques et mémoires avancées constituent des composants stratégiques à fort enjeu de souveraineté. Pour autant, cette politique de rattrapage ne s'accompagne pas de la mise en place de mesures de protection de son marché (re)naissant. Les dispositifs de protection commerciale apparaissent moins contraignants que ceux déployés par la Chine et les États-Unis. L'instrument anti-subvention<sup>86</sup> déployé est ainsi plutôt une façon de rétablir des conditions de concurrence équitables, et non pas un outil visant à favoriser une industrie naissante ou en difficulté.

---

<sup>86</sup> L'instrument anti-subventions fait partie de la politique commerciale de l'UE, notamment en réponse à des préoccupations croissantes concernant l'impact des subventions étrangères sur les entreprises et secteurs européens. Ces subventions, en particulier celles provenant de pays tiers (comme la Chine), peuvent fausser la concurrence et nuire à l'industrie européenne.

Annexe V

Tableau 3 : Principales politiques publiques mises en place aux Etats-Unis, en Chine et en Europe ayant une visée de souveraineté

Pays	Frontière technologique			Prévention/mitigation du décrochage			Rattrapage technologique		
	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale
Etats-Unis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conception de circuits avancés</li> <li>Logiciels d'assistance à la conception</li> <li>Équipements (hors photolithographie)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Fonderie (Intel)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Fonderie</li> <li>Back end avancé</li> <li>Non adressé par les politiques américaines : machines de photolithographies</li> </ul>		
	<i>Chips Act (subventions R&amp;D)</i>	Existence de clusters académico-industriels	Export de produits finis (Apple, Nvidia etc.)	Chips Act (subventions R&D)	Soutien des industries stratégiques en difficulté (prêt, subventions à Intel)(Chips Act) ;	Protection des industries américaines (NDAA, FDPR, Chips Act)	Chips Act (subventions R&D)	Subventions et prêts aux des entreprises spécialisées étrangères (fonderies) (Chips Act).	Protection des industries américaines vis-à-vis de le concurrence chinoise (NDAA, FDPR, Chips Act)
Chine	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conception et production de composants matures</li> <li>Composants de puissance</li> <li>Back end</li> </ul>			Non concerné			<ul style="list-style-type: none"> <li>Machines de photolithographie</li> <li>Fonderie</li> <li>Logiciels d'assistance à la conception</li> <li>Équipements</li> </ul>		
	Non disponible (N.D.)	N.D.	Export de produits finis (Huawei, BYD), et de composants électroniques manufacturés (back end)	Non concerné			Recherche sur des technologies ciblées (équipement de lithographie, EDA)	Soutien des industries stratégiques (prêt, subventions dans le cadre des <i>big funds</i> ) ; attraction des entreprises spécialisées étrangères.	Protection des industries chinoises, préférence nationale des industries aval, mesures de rétorsion vis-à-vis des Etats-Unis

## Annexe V

Pays	Frontière technologique			Prévention/mitigation du décrochage			Rattrapage technologique		
	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale	Recherche et innovation	Soutien industriel	Politique commerciale
Europe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Machines de photolithographies EUV</li> <li>▪ Conception et production de composants matures</li> <li>▪ Composants de puissance</li> <li>▪ Composants analogiques</li> <li>▪ Technologies spécifiques (substrats, FD-SOI).</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Composants de puissance et composants matures (concurrence chinoise)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fonderie (rattrapage partiel, projets TSMC et Intel en Allemagne).</li> <li>▪ Non adressé par les politiques européennes : conception, logiciels d'assistance à la conception, équipements hors lithographie.</li> </ul>		
	<i>Prêt et subventions : PIIEC 1 et 2 (dont programme Nano).</i>	Synergie entre les écosystèmes académico industriels, PIIEC 1 et 2 ; programme Liberty <sup>87</sup>	Export de machines de lithographie (hors Chine) et de composants électroniques.	Prêt et subventions : PIIEC 1 et 2 (dont programme Nano),	Limité et indirect : prêts et subventions, PIIEC 1 et 2 (exemple XFAB)	Limité	Limité	Partie capacitaire du <i>Chips Act</i> (notamment projets allemands reportés)	Limité <sup>88</sup>

Source : Mission

*Note de lecture* : Pour chaque zone géographique (en colonne), le tableau indique le niveau de développement par technologie, et les principales politiques publiques développées en fonction de la finalité : maintien à la frontière technologique, prévention/mitigation du décrochage, rattrapage technologique. Les politiques publiques indiquées dans le tableau sont celles qui ciblent directement le domaine de l'électronique : ainsi, le CIR n'est pas indiqué dans la case R&D pour l'Europe. Certaines politiques ne correspondent par ailleurs pas au cadre conceptuel explicité dans le tableau 2 : par exemple, les dispositifs de soutien à la R&D sont souvent dirigés ou semi-dirigés vers des technologies voire des projets spécifiques. Elles sont indiquées dans le tableau, en italique.

<sup>87</sup> La programme Liberty constitue une singularité dans le tableau, dans la mesure où il s'agit à la fois d'un projet capacitaire sur une technologie déjà présente en Europe (technologie FD-SOI 22nm), et d'un projet de R&D qui doit permettre le développement de composants à la frontière technologique (FD-SOI 18nm et recherche sur le FD-SOI 10nm).

<sup>88</sup> Si certains instruments de politique commerciale commencent à être mis en place (instruments anti-subsidies par exemple), ils apparaissent d'ampleur limitée par rapport aux politiques commerciales agressives développées par les Etats-Unis et la Chine.

**Plusieurs composants ou procédés répondant à au moins un des critères permettant de définir les technologies stratégiques (cf. 3.1) ne sont pas ciblés par les plans de soutien européen.** C'est notamment le cas de savoir-faire sur le segment de la conception de circuits logiques avancés, et notamment de GPU massivement utilisés dans le domaine de l'intelligence artificielle. Si le rapport Draghi les cible comme un enjeu de premier plan, le développement d'entreprises *fabless* domestiques ne fait pas actuellement pas l'objet d'un soutien financier d'envergure par l'union européenne dans le cadre du *Chips Act*. Dans le domaine de la fonderie, la production de composants avancés fait l'objet d'une stratégie de rattrapage partielle en Allemagne, mais pas au niveau de la frontière technologique. Il s'agit d'assurer localement la production de composants stratégiques pour les besoins de l'industrie automobile domestique, et pas de venir concurrencer les leaders actuels du marché.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces angles morts de la stratégie européenne. Tout d'abord, un manque de moyens permettant de soutenir au niveau adéquat une stratégie de rattrapage globale. Même si l'ensemble des moyens du *Chips Act* étaient mis au service d'une stratégie commune, le plan européen resterait un ordre de grandeur en dessous des programmes américains et chinois en termes d'appui financier (cf. 3.3). Par ailleurs, les deux principaux pays financeurs du *Chips Act*, la France et l'Allemagne, ont opté pour des stratégies différentes :

- ◆ l'Allemagne semble se lancer dans une stratégie de rattrapage partiel sur un segment stratégique pour son industrie aval (composants avancés), en attirant des fonderies étrangères ;
- ◆ la France mise en partie sur une technologie de pointe (FD-SOI) qui reste à ce jour un pari économique.

Par ailleurs, au sein même de la commission, des courants contraires peuvent expliquer l'absence d'approche systématique, qui consisterait à définir les technologies stratégiques, leur niveau par rapport à la frontière technologique et d'en déduire les politiques de soutien à mettre en œuvre<sup>89</sup>. L'hybridation des outils de politiques publiques mise en avant dans le tableau 3 peut également s'expliquer par les vues divergentes entre les approches libérales, essentiellement opposées aux mesures de limitation du commerce international, et les approches plus protectionnistes de soutien industriel<sup>90</sup>. **Malgré tout, la taille du marché, l'échelle des investissements et la nécessité d'articuler des outils de soutien industriel et de politiques commerciales aujourd'hui à la main de la commission plaident pour un pilotage européen de la politique de résilience dans le domaine des semi-conducteurs**<sup>91</sup>. Seul un nombre restreint de pays européens (D, F, IT, NL, B) toutefois est à même d'intervenir significativement dans ce domaine. Il faut donc trouver les dispositifs « à géométrie variable » *ad hoc* au niveau européen pour assurer ce pilotage. Cela a été tout l'enjeu des clusters EUREKA, puis des entreprises communes (JU, cf. annexe I).

---

<sup>89</sup> J. Jürgen, (2024): « Innovation, industrial and trade policies for technological sovereignty », *FIW-Kurzbericht*, n° 61 ; Towards European technological sovereignty in critical fields.

<sup>90</sup> T. Seidl, L. Schmitz (2024) « Moving on to not fall behind? Technological sovereignty and the 'geo-dirigiste' turn in EU industrial policy », *Journal of European Public Policy*, vol. 31, n° 8, pp. 2147-2174.

<sup>91</sup> C'est également la conclusion poussée par Isabelle Méjean et Xavier Jaravel (X. Jaravel, I. Mejean, (avril 2021) : « Quelle stratégie de résilience dans la mondialisation ? », *Les notes du conseil d'analyse économique*, n° 64, pp. 1-12).

### 3.3. La Chine et les États-Unis, en conflit commercial ouvert dans le champ des semi-conducteurs, ont opté pour une stratégie de souveraineté intégrale

À court terme, l'intégration complète de la chaîne de valeur au sein d'un pays ou d'une région donnée apparaît comme difficilement réalisable au vu du niveau de spécialisation horizontale qui caractérise l'industrie des semi-conducteurs, même si certains maillons sont plus accessibles technologiquement que d'autres. Cela supposerait de disposer de tous les savoir-faire localement sur l'ensemble de la chaîne, que ce soit en termes de logiciel et de capacités de conception, de machines-outils, de matériaux primaires (plaquettes de silicium, intrants chimiques divers), de fonderie et de production *back end* (assemblage, test) (cf. Annexe III pour le détail de la chaîne de valeur). Le coût d'un tel scénario permettant d'atteindre un niveau d'indépendance régional<sup>92</sup> complet répondant aux besoins domestiques de l'année 2019 a été estimé par le cabinet BCG à environ 1 000 Md\$, soit le double du chiffre d'affaires mondial de la filière. Un tel scénario conduirait par ailleurs à un déséquilibre fort au niveau de l'offre, avec un risque important de surcapacité productive globale<sup>93</sup>.

**La Chine et les États-Unis cherchent néanmoins à augmenter significativement leur niveau de souveraineté respectif.** Cela passe notamment par la réduction des dépendances bilatérales, considérées comme des facteurs de vulnérabilités, et par le maintien d'échanges commerciaux avec les partenaires jugés fiables (en général eux-mêmes en situation de dépendance sur d'autres produits) :

- ◆ la Chine dispose d'ores et déjà d'un écosystème industriel important (fonderie) sur le segment des composants matures et sur celui de l'assemblage. Elle présente en revanche une dépendance sur le segment du design et de la production de puces avancées vis-à-vis des États-Unis (design et logiciels de conception), de Taiwan (fonderie) et des Pays-Bas (machines de photolithographie ultraviolettes). Cette dépendance pénalise ses industries aval, notamment dans le domaine des smartphones (Huawei) et de l'intelligence artificielle du fait du blocus américain sur ces technologies. **La Chine s'est donc engagée dans un processus de rattrapage technologique sur l'ensemble de ces champs**, avec une consolidation en cours des entreprises de design domestique et des avancées rapides sur les technologies des machines de photolithographie. **Cela devrait lui permettre d'aboutir à moyen terme à un niveau d'indépendance quasiment complet vis-à-vis du bloc occidental ;**

---

<sup>92</sup> Cout par région (Chine, USA, Europe)

<sup>93</sup> *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*, Rapport du BCG et de la Semiconductor industry association, avril 2021.

## Annexe V

- ◆ les entreprises américaines sont quant à elles en pointe sur le plan de la conception des puces logiques. Le soutien à la R&D dans le cadre du *Chips Act* doit permettre de maintenir voire de renforcer cette avance, en s'appuyant sur ses nombreux clusters académo-industriels existants. Les entreprises de *design* américaines présentent en revanche un niveau de dépendance important vis-à-vis de Taiwan sur la partie production (fonderie), source de vulnérabilité en cas de choc géopolitique local (blocus, conflit armé avec la Chine notamment, cf. 2.3). Par ailleurs, le segment de l'assemblage a été largement délocalisé en Asie, et notamment en Chine et à Taiwan. **Le *Chips Act* pointe spécifiquement ces vulnérabilités, en rapatriant sur le sol américain des moyens de production en composant avancés et des industries *back end*.** Des dépendances sectorielles devraient demeurer vis-à-vis de partenaires jugés fiables (car eux même en situation de dépendance sur d'autres produits), sur le segment des machines de lithographie (Pays-Bas), des intrants (Japon), et de la production de mémoires (Corée).

**À moyen et long terme, deux écosystèmes intégrant presque toutes les étapes de la chaîne de valeur devraient coexister aux États-Unis et en Chine. Au sein de chaque zone d'influence, la dynamique de concentration (cf. Annexe VI) pourrait se poursuivre dans les prochaines années** sous l'effet de l'inflation des coûts liés à la recherche et au développement et des coûts d'investissement. Il apparaît peu probable que de nouveaux acteurs intègrent la course au More Moore, hormis une ou deux fonderies chinoises (SMIC notamment). La fonderie haute performance devrait donc rester l'apanage de deux ou trois entreprises au niveau mondial. Sur le segment du design des composants logiques, les coûts de développement des puces avancées connaissent également une inflation très forte, qui justifierait la poursuite des mouvements de fusion entre entreprises positionnées sur les mêmes domaines de spécialité. Enfin, sur le segment des mémoires, la domination coréenne ne semble pas devoir être remise en cause faute de politique de rattrapage déployée par les autres acteurs.

## **ANNEXE VI**

### **Parangonnage international**

# SOMMAIRE

<b>1. L'INDUSTRIE DES SEMI-CONDUCTEURS A CONNU UN DOUBLE MOUVEMENT DE CONCENTRATION GEOGRAPHIQUE ET DE SPECIALISATION SECTORIELLE .....</b>	<b>1</b>
1.1. Avec l'émergence de nouveaux acteurs, les savoir-faire et les capacités productives en matière de semi-conducteurs se sont dispersés géographiquement depuis la fin du 20 <sup>ème</sup> siècle.....	1
1.1.1. <i>La plupart des pays économiquement avancés ont développé un savoir-faire et des capacités industrielles en électronique dans les années 1950-1970.....</i>	<i>1</i>
1.1.2. <i>Le Japon est devenu un leader de l'électronique dans les années 1980 avant de perdre son avance technologique.....</i>	<i>1</i>
1.1.3. <i>À partir des années 2000, les acteurs américains ont développé les modèles d'industries sans usine en se recentrant sur les domaines à plus forte valeur ajoutée.....</i>	<i>3</i>
1.2. Le marché des semi-conducteurs est organisé par zone géographique, avec deux pôles principaux en Asie et aux États-Unis.....	5
1.2.1. <i>Le continent asiatique est le principal acteur en termes de productions de puce.....</i>	<i>5</i>
1.2.2. <i>Les connaissances en termes d'architecture système, à très forte valeur ajoutée, sont concentrées aux États-Unis.....</i>	<i>5</i>
1.2.3. <i>L'Europe est un acteur de second rang qui a conservé des savoir-faire permettant d'alimenter ses industries domestiques, notamment l'automobile</i>	<i>6</i>
1.3. L'industrie des semi-conducteurs a connu une double tendance de concentration et de spécialisation qui a bénéficié aux grands groupes multinationaux et aux industries à la pointe de l'innovation.....	7
<b>2. LES GRANDS PAYS INDUSTRIALISES DISPOSENT TOUS D'UNE STRATEGIE QUI S'APPUIE SUR DES MOYENS PUBLICS IMPORTANTS POUR SOUTENIR LEUR INDUSTRIE DOMESTIQUE DE SEMI-CONDUCTEURS.....</b>	<b>9</b>
2.1. En conflit commercial avec la Chine, les États-Unis cherchent à augmenter leur niveau de souveraineté sur l'ensemble de la chaîne de valeur.....	9
2.1.1. <i>Les États-Unis ont mis en place un important soutien public à la production domestique accompagné de mesures protectionnistes.....</i>	<i>11</i>
2.1.2. <i>La stratégie de souveraineté américaine vise à limiter le développement technologique de la Chine, considérée comme une menace à la sécurité nationale.....</i>	<i>12</i>
2.2. La Chine vise l'autosuffisance mais fait face à des restrictions américaines qui limitent son accès aux technologies de pointe.....	15
2.2.1. <i>Dans un contexte de tensions géopolitiques avec Taiwan et les États-Unis, la Chine vise l'autosuffisance.....</i>	<i>15</i>
2.2.2. <i>Tous les moyens de soutien à l'industrie locale sont mis en œuvre pour favoriser la production domestique.....</i>	<i>17</i>
2.3. L'Union Européenne tente de réduire sa dépendance vis-à-vis des acteurs étrangers sur certains segments jugés stratégiques.....	18
2.3.1. <i>Les acteurs européens développent une stratégie de souveraineté partiellement coordonnée ciblée sur les besoins des industries domestiques aval.....</i>	<i>18</i>
2.3.2. <i>Les financements individuels des pays membres sont conséquents mais pas toujours coordonnés, et concernent essentiellement la production de puces matures.....</i>	<i>20</i>

2.3.3.	<i>La stratégie européenne est menacée par le « Chips Act » américain et le plan « Made In China 2025 »</i>	22
2.4.	Taiwan cherche à maintenir sa position dominante dans le domaine la fabrication des composants électroniques avancés	22
2.4.1.	<i>Taiwan poursuit sa stratégie de long terme en s'appuyant sur son groupe phare TSMC, dans un contexte de forte tension avec la Chine qui tente de rattraper son retard technologique</i>	22
2.4.2.	<i>Le soutien à la R&amp;D passe par des dispositifs fiscaux avantageux et un mécanisme de capital risque original</i>	25
2.4.3.	<i>Les technologies de semi-conducteurs composites offrent des perspectives de partenariats entre les entreprises françaises et l'écosystème taiwanais</i>	26
2.5.	La Corée du Sud est l'un des seuls acteurs à posséder un savoir-faire sur l'ensemble de la chaîne de valeur et souhaite renforcer son leadership sur le segment des puces logiques	27
2.5.1.	<i>La Corée du Sud dispose de deux acteurs dominants sur le segment des mémoires</i>	27
2.5.2.	<i>Les industriels privés investissent pour développer leur activité mais bénéficient d'un soutien public limité</i>	28
2.5.3.	<i>Malgré son avance technologique dans le domaine des mémoires et de la fonderie, la position de la Corée est délicate du fait du contexte géopolitique local et global</i>	29
2.6.	Spécialisé sur le segment de la conception, le Royaume-Uni a développé une stratégie axée sur la recherche et l'innovation et vise une souveraineté partielle dans certains domaines critiques	30
<b>3.</b>	<b>LA TYPOLOGIE DES DISPOSITIFS DE SOUTIEN MIS EN PLACE PAR LES ACTEURS SONT COMPARABLES MAIS DES DIFFERENCES DE MOYENS SONT OBSERVEES</b>	<b>32</b>

## **1. L'industrie des semi-conducteurs a connu un double mouvement de concentration géographique et de spécialisation sectorielle**

### **1.1. Avec l'émergence de nouveaux acteurs, les savoir-faire et les capacités productives en matière de semi-conducteurs se sont dispersés géographiquement depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle**

#### **1.1.1. La plupart des pays économiquement avancés ont développé un savoir-faire et des capacités industrielles en électronique dans les années 1950-1970**

Conscients des débouchés potentiels de l'électronique, la plupart des pays économiquement avancés ont investi dans cette nouvelle technologie à partir des années 1950. Dans un premier temps, les laboratoires américains ont été à la pointe de la recherche : tout d'abord grâce au laboratoire pionnier de l'entreprise AT&T, les Bell Labs à l'origine du transistor en 1947 ; puis grâce aux entreprises Texas instruments, Fairchild semiconductor et Intel, ces deux dernières ayant émergé dans la Silicon Valley et contribué à en faire un *cluster* scientifique et industriel à proximité de l'université Stanford.

Plusieurs grandes entreprises industrielles en Europe et au Japon ont lancé des activités similaires de façon presque concomitante : Philips (Pays-Bas, actuellement NXP), Siemens (Allemagne, Infineon est un *spin off* de Siemens) et Thomson (France, qui a fusionné avec le groupe italien SGS pour former STMicroelectronics) en Europe ; NEC, Sony, Toshiba, Hitachi au Japon. Les entreprises japonaises ont ensuite connu un fort développement dans les années 1980 (*cf.* 1.1.2). Malgré leur décrochage actuel au niveau mondial, ces entreprises sont toujours des leaders dans leur pays d'origine.

En France, la recherche en électronique s'est appuyée en grande partie sur le CEA LETI (laboratoire d'électronique et de technologies de l'information), fondé en 1967. Le modèle du LETI, tourné vers les industriels, a été à l'origine des premières réussites françaises (réalisation des premiers circuits intégrés français, du premier transistor MOS) et d'essaimages réussis (les entreprises STMicroelectronics et Soitec ont été créées sur la base de technologies développées par le LETI : les circuits intégrés à base de transistors MOS (métal-oxyde semi-conducteur) ont donné naissance à la filiale Etude et fabrication de circuits intégrés spéciaux (EFCIS, qui a ensuite fusionné avec Thomson) en 1972 ; la technologie SmartCut a donné naissance à Soitec en 1992)<sup>1</sup>.

#### **1.1.2. Le Japon est devenu un leader de l'électronique dans les années 1980 avant de perdre son avance technologique**

Dans les années 1980, le Japon disposait d'une avance technologique marquée dans le domaine des semi-conducteurs, résultat d'une stratégie de rattrapage vis-à-vis des États-Unis amorcée vingt ans plus tôt et d'un modèle industriel d'intégration verticale.

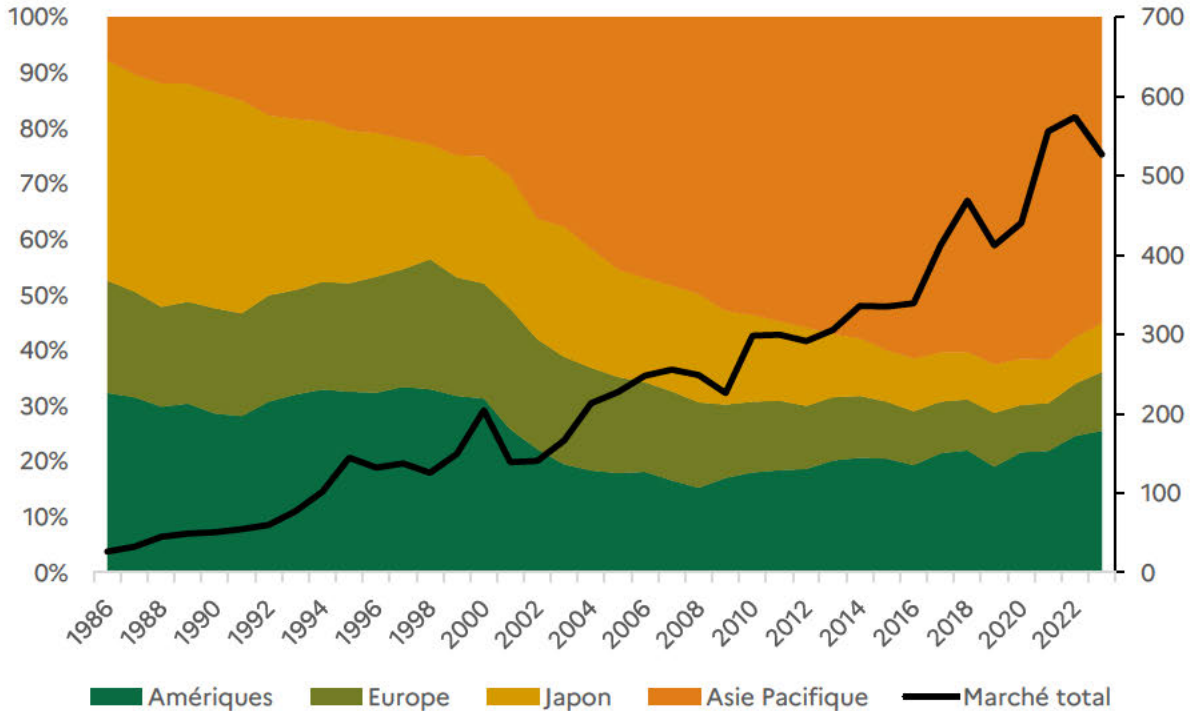
---

<sup>1</sup> [CEA LETI, 50 ans d'innovation](#), consulté le 29 octobre 2024.

## Annexe VI

Plusieurs partenariats avec des entreprises américaines engagés dans les années 1960 ont dans un premier temps permis d'amorcer un rattrapage technologique vis-à-vis des États-Unis, via des transferts de propriété intellectuelle et de savoir-faires industriels sur plusieurs technologies<sup>2</sup>. En parallèle, le gouvernement japonais a mis en place un **cadre protectionniste** limitant l'entrée des entreprises américaines sur le marché national, offrant ainsi aux entreprises japonaises un environnement protégé leur permettant de développer leurs capacités internes sans concurrence étrangère.

**Graphique 1 : Évolution du marché global<sup>3</sup> des semi-conducteurs (M\$, échelle de droite) et des parts de marché par zone géographique**



*Source : données WSTS, bluebook data, août 2024.*

Dans un second temps, deux facteurs ont contribué à faire du Japon le leader mondial dans le domaine de l'électronique (environ 40 % de parts de marchés au niveau global en 1986, quasi-monopole dans certains secteurs, notamment les mémoires cf. graphique 1)<sup>4</sup>, place qu'il a conservée entre les années 1980 et 2000<sup>5</sup> :

- ◆ un positionnement complémentaire aux entreprises américaines : dans les années 1980, les entreprises japonaises, comme NEC, Fujitsu, Hitachi, Toshiba, et Sharp, se sont concentrées sur l'innovation de procédés, augmentant le nombre de puces par wafer (*More Moore*), alors que les entreprises américaines privilégiaient l'innovation de produit ;

<sup>2</sup> En 1965, l'entreprise Tokyo Electron Laboratories (TEL) a notamment engagé un partenariat avec l'entreprise Fairchild Semiconductor (United States), puis avec l'entreprise américaine Lam Research.

<sup>3</sup> Somme des chiffres d'affaires des entreprises produisant des semi-conducteurs.

<sup>4</sup> A titre d'exemple, la part de marché des entreprises japonaises sur les mémoires DRAM (inventées par IBM) s'élevait à 30 % en 1978 ; elle a atteint 75 % en 1986, à la veille des accords commerciaux avec les États-Unis (S. Goodman, D. Kim, J. Verwey, (octobre 2019) : « The South Korea-Japan trade dispute in context: semiconductor manufacturing, chemicals, and concentrated supply chains », *office of industries*, working paper ID-062)

<sup>5</sup> S. Goodman, D. Kim, J. Verwey, (octobre 2019) : « The South Korea-Japan trade dispute in context: semiconductor manufacturing, chemicals, and concentrated supply chains », *office of industries*, working paper ID-062

## Annexe VI

- ◆ une demande domestique : les fabricants de semi-conducteurs japonais ont bénéficié d'un contexte domestique favorable, avec une demande croissante en électronique grand public.

En outre, les principales entreprises japonaises étaient intégrées verticalement, produisant leurs outils de production et s'adressant directement aux marchés finaux : NEC et Fujitsu dans le domaine des télécommunications, Hitachi et Toshiba dans celui des application industrielles et Sharp pour l'électronique grand public. Cela leur a permis de répondre rapidement aux besoins du marché et de bénéficier de gains d'efficacité liés à l'intégration verticale.

Cette avance s'est cependant résorbée à la fin des années 1980 pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le **conflit commercial avec les États-Unis** qui a abouti à l'accord commercial de 1986<sup>6</sup> a imposé au Japon d'ouvrir son marché domestique en garantissant un accès de 20 % du marché japonais aux producteurs étrangers. La Corée du Sud a profité de cette redistribution de la production mondiale<sup>7</sup> et des acteurs comme Samsung et SK Hynix se sont positionnés comme leaders mondiaux sur le segment des mémoires vives dynamiques (DRAM). Par ailleurs, la **demande intérieure en semi-conducteurs a diminué** avec le vieillissement de la population et le ralentissement du marché de l'électronique grand public, ce qui a réduit les débouchés. Enfin, des crises majeures comme la **récession de 2009 et le séisme de Fukushima en 2011** ont affaibli l'économie japonaise et ont contribué à fragiliser le positionnement de l'industrie électronique nipponne. Aujourd'hui, l'industrie japonaise des semi-conducteurs a perdu son avance historique et son poids sur le marché mondial au profit d'acteurs sud-coréens et chinois, mieux positionnés pour répondre aux exigences de la demande mondiale (cf. graphique 1).

### 1.1.3. À partir des années 2000, les acteurs américains ont développé les modèles d'industries sans usine en se recentrant sur les domaines à plus forte valeur ajoutée

**Au tournant des années 2000, le modèle japonais d'une industrie intégrée verticalement a été dépassé par le modèle américano-taiwanais d'une industrie intégrée horizontalement.** À l'exception d'Intel<sup>8</sup>, les entreprises américaines se sont spécialisées dans la partie amont de la chaîne de valeur (*design*), jugée plus rentable, tandis que la fonderie a été sous-traitée à des entreprises spécialisées, notamment TSMC à Taiwan. Certaines entreprises se sont développées directement selon le modèle *fabless* (exemple de Nvidia), d'autres ont abandonné leur branche production. En 2009, l'entreprise américaine AMD, initialement un fabricant de composants intégré (*integrated device manufacturer, IDM*), s'est ainsi séparé de sa branche fonderie qui est devenu GlobalFoundries.

**Cette stratégie de spécialisation a permis aux entreprises américaines de soutenir le rythme d'investissement nécessaire pour concevoir les puces les plus avancées<sup>9</sup>, et aux spécialistes de la fonderie d'atteindre des volumes de production suffisants pour soutenir les coûts en capitaux des nouvelles usines.**

---

<sup>6</sup> D. Irwin, *The political economy of trade protection*, Anne Krueger editor, 1996.

<sup>7</sup> S. Goodman, D. Kim, J. Verwey, (octobre 2019) : « The South Korea-Japan trade dispute in context: semiconductor manufacturing, chemicals, and concentrated supply chains », *office of industries*, working paper ID-062.

<sup>8</sup> Dans un contexte financier difficile (2024), l'entreprise Intel est en train de filialiser sa branche fonderie.

<sup>9</sup> En 2016, la conception d'une puce pour le nœud 10nm coûtait environ 170M\$. En 2020, la conception d'une puce au nœud technologique 7nm coûte plus de 540M\$. Seuls les géants de la haute-technologie ont des marchés suffisamment importants pour se payer ces circuits spécifiques (*Panorama de la filière électronique mondiale*, Note de la DGE, octobre 2020)

## Annexe VI

Ce modèle d'intégration horizontale est néanmoins remis en cause depuis 2020. Les mesures de contrôle export mis en place par les États-Unis à destination de la Chine<sup>10</sup> (cf. 2.1.2) ont poussé cette dernière à développer des compétences sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Déjà fortement implantée sur le segment de l'assemblage et du packaging, **la Chine monte en puissance sur le segment du design avec trois entreprises en croissance** :

- ◆ HiSilicon, qui appartient à Huawei Technologies et fournit directement les composants des terminaux produits par ce groupe ;
- ◆ Tsinghua Unigroup, qui est un conglomérat contrôlé par l'État chinois suite au rachat de RDA Microelectronics en 2013<sup>11</sup> ;
- ◆ ZTE Micro, qui est la troisième entreprise *fabless* chinoise majeure.

En parallèle, la Chine investit sur le segment de la fonderie et le développement de machine de photolithographie pour contourner l'embargo sur les machines ASML (cf. 2.2.1). **L'ensemble de cette stratégie constitue un retour à une intégration verticale, si ce n'est au niveau d'un groupe industriel, a minima au niveau d'un pays.** Vulnérables en cas de rupture d'approvisionnement sur les composants produits à Taiwan, les américains cherchent de leur côté dans le cadre du « *Chips Act* » à rapatrier le segment de la fonderie qui avait été délocalisé quelque vingt ans plus tôt (cf. Annexe V).

Certains acteurs n'ont par ailleurs jamais adopté le modèle américain d'intégration horizontale. C'est notamment le cas des entreprises japonaises et européennes, qui ne disposent d'aucune entreprise significative de type *fabless*<sup>12</sup>. Les compétences en termes de conception de circuits sont restées concentrées entre les mains des principaux IDM, à savoir Infineon, NXP et STMicroelectronics en Europe. Faute d'intégration et de spécialisation, ces acteurs n'ont néanmoins pas pu suivre la course technologique et ne disposent pas de compétences de *design* sur les composants les plus avancés. Un effort de rattrapage est en cours au Japon. **La Corée a également conservé un modèle d'intégration verticale, mais sur un segment spécialisé : celui des mémoires.** Moins important en valeur que le segment des puces logiques (la partie *design* représente 9 % de la chaîne de valeur contre 30 % pour les composants logiques<sup>13</sup>), il n'en demeure pas moins un nœud dans la chaîne de valeur maîtrisé par un oligopole coréen (Samsung et SK Hynix).

**L'industrie des semi-conducteurs semble finalement se diriger vers un modèle mixte.** Les compétences clés semblent devoir être dupliquées entre le bloc chinois et le bloc sous influence américaine. La frontière entre les IDM et les entreprises *fabless* n'est par ailleurs plus aussi claire qu'auparavant, des acteurs de premier plan comme Samsung ou Intel faisant appel à des fonderies spécialisées pour produire une partie de leurs puces<sup>14</sup>.

---

<sup>10</sup> Depuis 2019, le gouvernement des États-Unis a mis en place des mesures de contrôle des exportations contre Huawei et sa filiale HiSilicon afin d'interdire l'accès de HiSilicon aux logiciels EDA d'origine américaine, ce qui, en fait, empêche l'entreprise *fabless* de concevoir des circuits intégrés avancés. (*Panorama de la filière électronique mondiale*, Note de la DGE, octobre 2020).

<sup>11</sup> Ce groupe a pris le contrôle de H3C Technologies, spécialisé dans les serveurs anciennement contrôlés par HP. Par ailleurs, ce fonds d'investissement avait envisagé en 2015 d'acquérir Micron (États-Unis) en 2015 puis Western Digital (États-Unis) en 2016, des acquisitions jamais finalisées (*Panorama de la filière électronique mondiale*, Note de la DGE, octobre 2020)

<sup>12</sup> Parmi les entreprises basées en Europe, seules les entreprises Dialog (Royaume-Uni, 1,4 Md\$ de chiffre d'affaires en 2017) et Nordic (Norvège, 236 M\$ de chiffre d'affaires) sont présentes dans le Top 50 des *fabless* en 2017 (*Panorama de la filière électronique mondiale*, Note de la DGE, août 2018). L'entreprise britannique ARM est également un acteur important qui détient la propriété intellectuelle sur les architectures RISC.

<sup>13</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du Boston consulting group et de la semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>14</sup> D. Nenni, P. McLellan, *Fabless : the transformation of the semiconductor industry*, B. Martin and A. Ketchum editors, 2019.

## 1.2. Le marché des semi-conducteurs est organisé par zone géographique, avec deux pôles principaux en Asie et aux États-Unis

### 1.2.1. Le continent asiatique est le principal acteur en termes de productions de puce

**Le segment productif de la chaîne de valeur de l'industrie des semi-conducteurs est aujourd'hui concentré en Asie :** la fonderie constitue une spécialité de l'entreprise taiwanaise TSMC et de l'entreprise coréenne Samsung, tandis que la phase d'assemblage, de test et de packaging est principalement réalisée en Chine, à Taiwan et en Asie du sud-est (cf. annexe III).

L'intensité capitalistique nécessaire pour poursuivre l'effort de miniaturisation a poussé la plupart des industriels à se retirer de la course au *More Moore*. Alors que plus de 25 entreprises disposaient de capacités de fonderies sur la technologie 130 nm au début des années 2000 (dont les européens STMicroelectronics et Infineon), trois entreprises se partagent à présent le marché des puces avancées (niveau de gravure inférieur à 10 nm) : TSMC, Samsung et Intel. Le dernier acteur européen, STMicroelectronics, s'est retiré de la compétition à la technologie 28 nm au début des années 2010.<sup>15</sup> Les difficultés financières de l'entreprise Intel semblent obérer sa capacité à poursuivre l'effort d'investissement nécessaire pour rester dans la course au *More Moore*. Malgré sa stratégie volontariste, Samsung ne parvient pas à ce stade à prendre des parts de marchés à l'entreprise TSMC (cf. 2.5.2).

**Sur le segment le plus aval de la chaîne de valeur (assemblage, test et packaging), la concentration des moyens de production en Asie est encore plus forte (plus de 90 % en 2022).** La Chine est le premier acteur au niveau mondial, avec 30 % de la capacité productive<sup>16</sup> ; Taiwan est également un acteur majeur avec 27 % de la capacité productive mondiale. Les pays émergents tels que la Malaisie, les Philippines ou le Vietnam possèdent également des parts de marché importantes sur ce segment moins technologiquement avancé (14 % en 2022, projection à 22 % en 2032). L'Europe et les États-Unis sont quasiment absents de ce segment (respectivement 3 % et 4 % de la capacité productive mondiale en 2022). Si la part américaine doit augmenter dans les prochaines années sous l'effet du *Chips Act* qui cible ce segment de la chaîne de valeur, la part européenne devrait quant à elle rester stable<sup>17</sup>.

### 1.2.2. Les connaissances en termes d'architecture système, à très forte valeur ajoutée, sont concentrées aux États-Unis

Les entreprises américaines se sont progressivement imposées comme les acteurs dominants dans le secteur du design de composants. Elles détiennent actuellement 65 % de parts sur le marché de la conception de composants logiques (qui représentent un tiers du marché global des semi-conducteurs) et 68 % sur celui des logiciels de design (EDA)<sup>18</sup> :

---

<sup>15</sup> La poursuite de la miniaturisation nécessite en effet des investissements en capitaux importants qui ne sont pas soutenables pour les entreprises intermédiaires : entre 2021 et 2023, les entreprises Samsung, TSMC et Intel ont ainsi respectivement investi 110 Md\$, 96 Md\$ et 68 Md\$. Le franco-italien STMicroelectronics, premier européen, a quant à lui investi 9Md\$ sur la même période (*Analysis of semiconductor CAPEX as well as supply and demand*, Rapport IBS, mai 2024).

<sup>16</sup> La capacité productive est évaluée *via* l'empreinte au sol (en surface) des usines présentes dans un pays.

<sup>17</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du Boston consulting group et de la semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>18</sup> *Ibid*

## Annexe VI

- ◆ Nvidia, Qualcomm et Broadcom sont les trois plus grosses entreprises de design au niveau mondial en termes de chiffres d'affaires ; Nvidia détient par ailleurs un quasi-monopole sur la conception des puces GPU, dont la croissance est actuellement tirée par les besoins en intelligence artificielle. Certaines entreprises américaines conçoivent également des puces pour leurs propres besoins, et constituent des *fabless* de fait, même si elles ne vendent pas leur production sur le marché des semi-conducteurs : c'est notamment le cas d'Apple, Amazon ou encore Tesla<sup>19</sup> ;
- ◆ Le marché des outils logiciels (EDA) est également fortement concentré et dominé par trois entreprises américaines : Cadence Design Systems, Synopsys et Mentor Graphics<sup>20</sup>. Bien que représentant un marché moins important que celui du design des puces logiques (environ 3 % du marché global en 2024<sup>21</sup>), il s'agit d'un segment stratégique dans la mesure où les outils logiciels sont indispensables pour développer une activité *fabless*.

### 1.2.3. L'Europe est un acteur de second rang qui a conservé des savoir-faire permettant d'alimenter ses industries domestiques, notamment l'automobile

L'industrie électronique européenne comprend quatre entreprises parmi les vingt premières au niveau mondial en termes de chiffre d'affaires en 2023 : trois producteurs de composants électronique (STMicroelectronics, Infineon et NXP) et un fabricant de machines de photolithographie (le néerlandais ASML).

**Incapables de soutenir l'effort d'investissement et en l'absence de débouchés aval suffisants, les entreprises STMicroelectronics, Infineon et NXP ont abandonné la course au *More Moore* dans les années 2000 à 2010.** De ce fait, elles ne disposent pas de capacités de conception (*design*) ou de production (fonderie) sur le segment des composants logiques et des mémoires avancés. Ces entreprises se sont spécialisées dans la production de certains composants intéressant les industries aval domestique : composants logiques matures (puces de plus de 28 nm), capteurs, composants analogiques, microcontrôleurs. Elles s'adressent actuellement à des marchés aval relativement similaires, notamment le marché de l'industrie automobile, pour un chiffre d'affaires total de 46,6 Md\$ en 2023. **Présent sur l'amont de la chaîne de valeur, le modèle de l'entreprise ASML est très différent : l'entreprise dispose d'une avance technologique au niveau mondial sur le segment des machines de lithographies à rayonnement ultraviolet extrême (EUV) (cf. annexe III),** nécessaires pour produire les puces les plus avancées. Elle constitue de ce fait un verrou technologique dans la chaîne de valeur des semi-conducteurs. Pour cette raison, l'exportation des machines ASML vers la Chine a été suspendue en 2023 à la demande du gouvernement américain afin de freiner le développement technologique chinois ; dans le même temps, les Chinois poursuivent une politique de recherche et développement active afin de rattraper leur retard sur ce segment et développer leurs propres machines de photolithographie.

---

<sup>19</sup> *Panorama de la filière électronique mondiale*, Note de la DGE, octobre 2020.

<sup>20</sup> Mentor Graphics a été acquis par Siemens en 2017, mais est toujours basé aux États-Unis.

<sup>21</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du Boston consulting group et de la semiconductor industry association, mai 2024.

### 1.3. L'industrie des semi-conducteurs a connu une double tendance de concentration et de spécialisation qui a bénéficié aux grands groupes multinationaux et aux industries à la pointe de l'innovation

Deux tendances de fond liées à l'augmentation des besoins en capital ont été à l'origine de la mutation profonde de l'industrie des semi-conducteurs : un mouvement de spécialisation amorcée dans les années 1980 et 1990 avec le développement du modèle *fabless*, renforcé depuis avec des entreprises qui adressent des segments spécifiques de l'électronique (cf. 1.1.3) ; un mouvement de fusion acquisitions permettant de maintenir une taille critique dans un environnement hautement capitalistique.

Le mouvement de spécialisation a débuté dans les années 1980, quand l'entreprise taiwanaise TSMC a développé le modèle des fonderies (cf. annexe III). Progressivement, **la plupart des entreprises électroniques se sont spécialisées soit sur le segment du design soit sur celui de la production**. Actuellement, les entreprises Intel et Samsung sont les seules à maintenir des compétences de pointe sur les deux segments du design et de la fonderie, chacune sur un domaine de spécialité (respectivement les mémoires et les microcomposants intégrés).

**Par la suite, les principales entreprises électroniques se sont positionnées sur un ou deux domaines de spécialité**, en abandonnant la conception ou la production des autres types de composant<sup>22</sup>. Par ordre d'importance, les entreprises positionnées sur les principaux segments sont les suivantes :

- ◆ composants logiques : Nvidia, Qualcomm, Broadcom, Mediatek, Intel, Apple, Samsung ;
- ◆ mémoires : Samsung, SK Hynix, Micron technology, Kioxia, Western Digital ;
- ◆ microcomposants intégrés<sup>23</sup> : Intel, AMD (et dans une moindre mesure Infineon, STMicroelectronics, NXP) ;
- ◆ composants discrets : Infineon, Onsemi, STMicroelectronics ;
- ◆ analogique : Texas instruments, Analog devices, Qualcomm ;
- ◆ capteurs : Infineon, STMicroelectronics, NXP, Texas Instrument,
- ◆ composants optiques : Sony, Samsung, Broadcom.

**À l'opposé de leurs concurrentes étrangères, les entreprises européennes STMicroelectronics, NXP et Infineon ne se sont pas spécialisées sur un segment de la chaîne de valeur<sup>24</sup>**. Les trois majors européennes ont conservé des capacités de conception et de production, ainsi que des parts de chiffre d'affaires significatives sur trois sous-segments ou plus. STMicroelectronics, Infineon et NXP sont ainsi toutes trois présentes sur le segment des composants analogiques, des microcomposants intégrés et des capteurs. Elles ont également conservé une part de production sur le segment des composants logiques, des composants discrets (Infineon et STMicroelectronics) et des composants optiques pour STMicroelectronics.

---

<sup>22</sup> Parmi les 27 principales entreprises de semi-conducteurs, 12 se sont concentrées sur la conception et/ou la production d'un composant (*Nano 2022/IPCEI Microelectronics, rapport d'informations de STMicroelectronics, année 2022*, Rapport de STMicroelectronics, mai 2023.)

<sup>23</sup> Microcontrôleurs, microprocesseurs, FPGA.

<sup>24</sup> Contrairement aux entreprises ARM (Royaume-Uni) et ASML (Pays-Bas).

**En parallèle de la dynamique de spécialisation, le marché des semi-conducteurs s'est consolidé.** Entre 2014 et 2022, le volume des fusions-acquisitions s'est ainsi élevé à 392 Md\$ (cf. tableau 1 pour les principales opérations)<sup>25</sup>. Ce mouvement de consolidation pourrait se poursuivre, avec le rachat évoqué de l'entreprise Intel (deuxième acteur en termes de chiffre d'affaires au niveau mondial en 2023) par la société *fabless* Qualcomm, qui pourrait constituer la plus grande opération de fusion acquisition du secteur<sup>26</sup>. **La consolidation des acteurs a conduit à une concentration progressive du marché des semi-conducteurs.** Le ratio entre le chiffre d'affaires des trois plus grosses entreprises et le volume global des ventes a ainsi progressé de 30 % à près de 45 % entre 2004 et 2020 ; le même ratio pour les cinq plus grosses entreprises a progressé de 35 % à 55 % sur la même période<sup>27</sup>.

**Tableau 1 : Liste des principales opérations de fusion-acquisition depuis 2015**

Entreprises	Année	Valeur (Md\$)	Commentaire
Avago Technologies / Broadcom	2015	37	Avago Technologies a racheté Broadcom pour former Broadcom Inc., devenant l'une des plus grandes entreprises de semi-conducteurs au monde
Intel / Altera	2015	16,7	Intel a acquis Altera, un fabricant de FPGA (Field Programmable Gate Arrays), pour renforcer sa position dans les solutions de datacenters et de traitement à haute performance
NXP Semiconductors / Freescale	2015	11,8	Cette fusion a permis à NXP de devenir l'un des plus grands fabricants mondiaux pour l'industrie automobile
SoftBank / ARM	2016	31	SoftBank a acquis ARM, le leader des conceptions de puces pour smartphones et autres appareils mobiles.
Western digital / Sandisk	2016	19	Western Digital a acquis Sandisk dans le but de renforcer ses activités dans la mémoire flash
ON Semiconductor / Fairchild Semiconductor	2016	2,4	L'acquisition de Fairchild par ON Semiconductor visait à élargir son portefeuille dans les semi-conducteurs de puissance.
Qualcomm / NXP Semiconductors (annulé)	2018	44	Qualcomm avait prévu de racheter NXP pour se renforcer dans l'automobile et l'Internet des objets (IoT). Toutefois, l'accord a été annulé en raison de la non-approbation des régulateurs chinois et malgré l'accord de la Commission européenne.
Microchip Technology / Microsemi	2018	10,3	Microchip a acheté Microsemi pour étendre ses solutions dans l'aérospatial, la défense et les communications.
NVIDIA / Mellanox	2019	6,9	NVIDIA a acquis Mellanox pour renforcer son offre dans les réseaux de datacenters et améliorer l'efficacité du traitement des données
AMD / Xilinx	2020	35	AMD a acquis Xilinx, un leader dans les circuits FPGA, pour mieux concurrencer Intel sur les marchés de l'IA et des datacenters.
Analog Devices / Maxim Integrated	2021	20,9	Cette acquisition permet à Analog Devices de renforcer sa position dans les semi-conducteurs analogiques pour les secteurs de l'automobile, des communications et de l'industrie
Intel / Tower Semiconductor	2022	5,4	Intel a racheté Tower Semiconductor, un fabricant de semi-conducteurs spécialisés, pour diversifier ses capacités de fabrication.

<sup>25</sup> Nano 2022/IPCEI Microelectronics, rapport d'informations de STMicroelectronics, année 2022, Rapport de STMicroelectronics, mai 2023.

<sup>26</sup> V. Fagot, 27 septembre 2024 : « Qualcomm, ce géant des semi-conducteurs qui lorgne Intel, le roi déchu des puces », [Le Monde](#).

<sup>27</sup> Calculs réalisés par la mission sur la base des données financières des entreprises disponibles en opensource et du chiffre d'affaires consolidé de la filière issu du bluebook data de WSTS (août 2024).

## Annexe VI

Entreprises	Année	Valeur (Md\$)	Commentaire
NVIDIA / ARM (annulé)	2022	40	NVIDIA a tenté d'acquérir ARM, mais cette acquisition a été annulée en raison de réglementations strictes et d'oppositions antitrust.

*Source : Mission, sur la base de données de presse.*

**La combinaison de la consolidation du marché et de la spécialisation des acteurs conduit à des situations de monopole ou d'oligopole sur certains segments<sup>28</sup> : c'est notamment le cas pour les mémoires (cf. 2.5.1), pour les puces logiques GPU ou encore pour la fonderie de puces avancées (cf. 2.4.1).**

## 2. Les grands pays industrialisés disposent tous d'une stratégie qui s'appuie sur des moyens publics importants pour soutenir leur industrie domestique de semi-conducteurs

### 2.1. En conflit commercial avec la Chine, les États-Unis cherchent à augmenter leur niveau de souveraineté sur l'ensemble de la chaîne de valeur

**L'écosystème industriel américain de production de semi-conducteurs occupe une position à la fois fragile et dominante.** Il compte en effet plusieurs entreprises spécialisées qui dominent le marché du *design*, notamment sur le segment des puces logiques avancées.<sup>29</sup> Cinq entreprises américaines se placent dans le Top 10 mondial en termes de chiffres d'affaires (cf. tableau 2)

**Tableau 2 : Principales entreprises électroniques au niveau mondial par chiffre d'affaires 2023.**

Entreprise	Nationalité	Chiffre d'affaires 2023 (Md\$)	Type	Spécialité
TSMC	Taiwan	69,3	Fonderie	Mémoires, composants logiques
Samsung	Corée	51,4	IDM	Mémoires, composants logiques
Intel	États-Unis	54,2	IDM	Composants logiques, circuits intégrés
Broadcom	États-Unis	35,8	Fabless	Composants logiques
Qualcomm	États-Unis	35,8	Fabless	Composants logiques, composants analogiques
ASML	Pays-Bas	27,6	Équipementier	Machines de photolithographie
Nvidia	États-Unis	27 <sup>30</sup>	Fabless	Composants logiques (GPU)
SK Hynix	Corée	25,3	IDM	Mémoires
AMD	États-Unis	22,7	Fabless	Composants logiques, circuits intégrés
Infineon	Allemagne	22,4	IDM	Composants discrets, composants analogiques, circuits intégrés
Texas Instrument	États-Unis	17,5	IDM	Composants analogiques, circuits intégrés

<sup>28</sup> Il faut néanmoins souligner que la consolidation du secteur ne s'est pas opérée à périmètre constant d'acteurs : le trio de tête était composé dans les années 1980 des entreprises Toshiba, Texas Instruments et Intel ; dans les années 2000, le secteur était dominé par l'entreprise Intel ; les plus grosses entreprises en termes de chiffres d'affaires sont actuellement Samsung, Intel, TSMC et Nvidia. Les choix stratégiques des entreprises et l'évolution de la demande aval ont permis de faire émerger des acteurs nouveaux dans des temps relativement courts (Nvidia). Ils ont également conduit à la disparition rapide de certains acteurs majeurs.

<sup>29</sup> *Perspectives pour l'industrie des semi-conducteurs aux États-Unis*, Note du service économique régional, 17 février 2021.

<sup>30</sup> Le chiffre d'affaires 2024 est anticipé à plus de 60 Md\$.

## Annexe VI

Entreprise	Nationalité	Chiffre d'affaires 2023 (Md\$)	Type	Spécialité
LAM research	États-Unis	17,4	Equipementier	Machines
STMicroelectronics	France/Italie	17,3	IDM	Composants discrets, composants analogiques, circuits intégrés, optiques
Micron	États-Unis	16,1	IDM	Mémoires
Apple	États-Unis	(15) <sup>31</sup>	Fabless	Composants logiques, circuits intégrés
Media Tek	Taiwan	14	Fabless	Composants analogiques, composants logiques

*Source : Nano 2022/IPCEI Microelectronics, rapport d'informations de STMicroelectronics, année 2022, Rapport de STMicroelectronics, mai 2023. ; Analysis of semiconductor CAPEX as well as supply and demand, Rapport IBS, mai 2024 ; données publiques.*

**Intel excepté, ces entreprises produisent néanmoins peu en propre, faisant appel à des fonderies essentiellement présentes à Taiwan, ce qui représente une source de vulnérabilité dans un contexte géopolitique tendu (cf. Annexe V).** Avec l'invention du modèle *fabless* dans les années 1980 (cf. annexe III et 1.1.3), de plus en plus d'entreprises américaines ont externalisé la fabrication de leurs puces afin de limiter le coût de construction des usines de production. Les capacités de production domestique ont ainsi fortement chuté entre les années 1990 et 2020, passant de 37 % à 10 %<sup>32</sup>. Certains acteurs majeurs du secteur (Apple, Nvidia notamment) ne disposent d'aucune capacité propre de production ; d'autres (Intel et Global Foundries notamment) ont conservé un savoir-faire dans le domaine de la fonderie.

**Les capacités de production américaines sont par ailleurs inégalement distribuées entre les différents types de composants électroniques.** Les États-Unis contribuent toujours à hauteur de 28 % de la production mondiale sur le segment des puces logiques intermédiaires (entre 10 nm et 28 nm) et à 14 % sur le segment des composants analogiques. Les fonderies américaines sont en revanche très en retrait sur la production de mémoires (moins de 3 % sur chacun des deux segments que constituent la mémoire vive et la mémoire non volatile, domaines de spécialité de Corée et du Japon) et complètement absente (en 2022) sur la production de puces logiques de haute performance (<10nm), dont la fabrication est maîtrisée uniquement à Taiwan et en Corée<sup>33</sup>. **Les États-Unis sont donc en grande partie dépendants de pays tiers pour la production des puces qu'ils conçoivent**, avec un effet multiplicateur des potentielles ruptures de chaînes d'approvisionnements sur l'ensemble de la chaîne aval.

Dans ce cadre, les administrations Trump puis Biden ont conçu une politique globale de soutien à la filière des semi-conducteurs axée sur la sécurité économique. Cette stratégie s'appuie sur deux volets<sup>34</sup> :

- ◆ **le renforcement des capacités industrielles nationales**, perçu comme essentiel pour assurer la résilience de l'économie américaine et réduire sa dépendance à la Chine. Le *Chips Act*, adopté en août 2022, constitue sa déclinaison pour le secteur des semi-conducteurs ;
- ◆ **la protection des technologies sensibles américaines, en particulier vis-à-vis de la Chine considérée comme la principale menace au niveau mondial.** L'objectif affiché est de conserver une avance technologique (initialement de deux générations de composants, aujourd'hui la plus importante possible) sur la Chine. Plusieurs outils ont été développés à cet effet : contrôle des exportations ; filtrage des investissements entrants ; contrôle des investissements sortants ; application de l'extraterritorialité.

<sup>31</sup> La position d'Apple est particulière, n ce sens qu'elle conçoit et fait produire des puces pour ses besoins propres.

<sup>32</sup> *Emerging resilience in the semiconductor supply chain*, Rapport du Boston consulting group et de la semiconductor industry association, mai 2024.

<sup>33</sup> *Ibid*

### 2.1.1. Les États-Unis ont mis en place un important soutien public à la production domestique accompagné de mesures protectionnistes

Faisant suite à plusieurs décennies de soutien à la filière des semi-conducteurs, notamment dans le cadre des programmes militaires financés par la DARPA<sup>35</sup>, plusieurs outils ont été mis en place pour appuyer la stratégie américaine à partir de l'année 2021. Le *National Defense Authorization Act (NDAA)* est le premier texte approuvé par le Congrès début 2021 comportant des dispositions visant à soutenir la production de semi-conducteurs aux États-Unis. Il a été complété en 2022 par la loi *Chips and Science Act* signée par le président Biden le 9 août 2022. Le *Chips Act* comporte un important volet incitatif<sup>36</sup> qui met en place des soutiens à l'industrie américaine des semi-conducteurs de près de 80 Md\$ sur 10 ans, à travers :

- ◆ 50 Md\$ destinés à un fonds de soutien « *Chips for America* » à la production (39 Md\$) et à la R&D (11 Md\$) ;
- ◆ 2,7 Md\$ pour des fonds plus sectoriels (notamment 2 Md\$ sur les enjeux liés à la défense)
- ◆ 24,3 Md\$ de crédit d'impôt (*advanced manufacturing investment credit*, 25 % d'abattement sur le montant total de l'investissement) entre 2022 et 2030 sur les investissements visant à produire des semi-conducteurs avancés<sup>37</sup>.

**Le Département du Commerce a d'ores et déjà fléchi une part importante (27,6 Md\$) des subventions publiques fédérales dédiées au développement de capacités de production de puces avancées<sup>38</sup>.** Ces subventions seront réparties entre quatre entreprises, dont deux américaines, pour des projets comprenant la création d'une ou plusieurs nouvelles usines sur le sol américain (*cf.* tableau 3) :

- ◆ 8,5 Md\$ pour la construction de quatre nouvelles usines Intel en Arizona et dans l'Ohio ;
- ◆ 6,6 Md\$ pour la construction de trois nouvelles usines TSMC dans l'Arizona,
- ◆ 6,4 Md\$ pour la construction de trois nouveaux sites Samsung au Texas
- ◆ 6,1 Md\$ pour la construction de cinq nouvelles usines Micron, quatre dans l'État de New York et une dans l'Idaho.

Dans une moindre mesure, le *Chips Act* vise également à renforcer les capacités des États-Unis sur le segment des puces matures : 1,5 Md\$ ont été attribués à GlobalFoundries, pour deux sites dans l'État de New York et le Vermont ; 162 M\$ à l'entreprise Microchip Technology pour un projet réparti sur deux sites entre le Colorado (90 M\$) et l'Oregon (72 M\$) ; 120 M\$ pour une extension de l'usine Polar dans le Minnesota et 35 M\$ pour l'usine BAE Systems dans le New Hampshire

**Tableau 3 : Liste des subventions accordées dans le cadre du Chips Act**

Entreprise	Location	Subvention	Taille Projet	Type de projet	Technologie
GlobalFoundries	Malta, NY	1,375 Md\$ sub / 1,6 Md\$ prêt	11,6 Md\$	Nouvelle usine, expansion	Puces intermédiaires, puces matures
	Essex Junction, VT	125 M\$	900 M\$	Revitalisation	Puces matures
Microchip Technology	Colorado Springs, CO	90 M\$	N/A	Modernisation, expansion	Puces matures
	Gresham, OR	72 M\$	N/A	Modernisation	Puces matures
BAE Systems	Nashua, NH	35 M\$	N/A	Modernisation	Puces matures

<sup>35</sup> Defense advanced research projects agency.

<sup>37</sup> *Advanced manufacturing investment credit*, site de l'IRS, consulté le 29 octobre 2024 ; *Cot estimate, congressional budget office*, site du congrès, consulté le 29 octobre 2024.

## Annexe VI

Entreprise	Location	Subvention	Taille Projet	Type de projet	Technologie
Intel	Hillsboro, OR	8,5 Md\$ sub & 11 Md\$ prêt	36 Md\$	Modernisation, expansion	Puces avancées
	Chandler, AZ		32 Md\$	nouvelles usines (2), Expansion	Puces avancées
	Rio Rancho, NM		4 Md\$	Modernisations (2)	Packaging avancé
	New Albany, OH		28 Md\$	nouvelles usines (2)	Puces avancées
TSMC	Phoenix, AZ	6,6 Md\$ de sub & 5 Md\$ en prêt	65 Md\$	nouvelles usines (3), expansion	Puces avancées
Samsung	Taylor, TX	6,4 Md\$ en sub	45 Md\$	R&D, nouvelle usine	Puces avancées
	Austin, TX			nouveau site	Packaging avancé
SK Hynix	West Lafayette, IND	450 M\$	3,9 Md\$	nouveau site	Packaging avancé
Micron	Clay, NY	6,14 Md\$ en sub & 7,5 Md\$ en prêt	100 Md\$	nouvelles usines (4)	Puces avancées
	Boise, ID		25 Md\$	nouvelle usine	Puces avancées
Polar	Bloomington, MN	120 M\$	525 M\$	modernisation, expansion	Puces matures

*Source : Le Département du Commerce a alloué l'essentiel des subventions pour la production de puces avancées prévues par le Chips Act, Note du service économique régional, 3 juillet 2024..*

**Ces subventions sont complétées par un crédit d'impôts** (*Advanced Manufacturing Investment Credit*<sup>39</sup>) destiné à accélérer les investissements dans les capacités de productions des puces avancées. Ce crédit d'impôt représente un abattement de 25 % sur le coût d'investissement total. Son coût est estimé à 24,3 Md\$ d'ici 2030, principalement concentré sur les années 2022-2026 (22,1 Md\$)<sup>40</sup>.

En parallèle, le *Chips Act* comporte un volet important de contrôle export dont la portée est largement extraterritoriale et principalement dirigé vers la Chine (cf. 2.1.2).

### 2.1.2. La stratégie de souveraineté américaine vise à limiter le développement technologique de la Chine, considérée comme une menace à la sécurité nationale

Le *Chips Act* américain vise également à limiter le développement technologique de certains pays considérés comme présentant des dangers pour la sécurité nationale, et notamment la Chine, en imposant des barrières réglementaires.

<sup>39</sup> *Advanced Manufacturing Investment Credit*, site de l'[IRS](#), consulté le 31 octobre 2024.

## Annexe VI

Dans un discours prononcé<sup>41</sup> le 16 septembre 2022, le conseiller à la sécurité nationale Jake Sullivan a ainsi déclaré que l'objectif des États-Unis n'était plus de maintenir un écart technologique de deux générations avec la Chine mais de « *maintenir une avance aussi large que possible* » face à un « *concurrent déterminé à dépasser l'avance technologique américaine* ». Pour cela, les États-Unis ont déployé un **ensemble de dispositifs réglementaires, dont certains ont une portée extraterritoriale**. Les bénéficiaires de fonds publics issus du *Chips Act* (subventions ou crédits d'impôt) ont par exemple l'interdiction d'étendre leurs capacités de production existantes ou de créer de nouveaux sites de productions de semi-conducteurs avancés en Chine pendant une durée de dix ans. Toute transaction significative visant à étendre substantiellement ou créer des capacités de production de semi-conducteurs avancés doit ainsi être notifiée préalablement au département du commerce américain<sup>42</sup>.

**Des dispositions renforçant le dispositif de contrôle export ont également été prises le 7 octobre 2022** afin de restreindre la capacité de la Chine à obtenir des puces informatiques avancées, développer des superordinateurs et concevoir des semi-conducteurs de pointe. Dans ce cadre, l'exportation vers toute entité ou individu domicilié en Chine des produits suivants est restreinte :

- ◆ les processeurs graphiques de pointe (GPU) et/ou leurs composants intégrés si ceux-ci comprennent des composants ou technologie américains ou d'origine américaine, limitant de facto la capacité de développer des modèles d'intelligence artificielle à l'état de l'art ;
- ◆ les machines-outils et plus généralement tout type de produit, logiciel ou technologie d'origine américaine utilisé pour le développement ou la production d'équipements nécessaires à la fabrication de semi-conducteurs ou de composants annexes, limitant de facto la production de composants électroniques avancés ;
- ◆ les autres équipements utilisés pour la fabrication de semi-conducteurs logiques à nœuds technologiques avancés ;
- ◆ les prestations de services de mise à niveau et de maintenance d'équipements nécessaires à la production et au développement de puces logiques et de puces mémoires à nœuds technologiques avancés réalisés par des *US persons*.

La « *Foreign Direct Product Rule* » (FDPR), qui soumet au contrôle des autorités américaines tout bien qui est le produit direct ou indirect de certains logiciels ou technologies, a également été étendue à certaines exportations vers la Chine (notamment les équipements utilisés dans la conception des ordinateurs avancés et des superordinateurs). Concernant les superordinateurs et le domaine du calcul à haute performance, cette règle s'applique également aux articles produits à l'étranger à partir de technologies américaines<sup>43</sup>.

---

<sup>41</sup>Remarks by National Security Advisor Jake Sullivan at the Special Competitive Studies Project Global Emerging Technologies Summit, Discours, [site](#) de la maison blanche consulté le 10 décembre 2024.



**Le périmètre des restrictions a de nouveau été élargi le 17 octobre 2023.** Les systèmes de lithographie ultraviolet profond (DUV) sont notamment concernés, dans le prolongement de l'accord trilatéral officiel avec les Pays-Bas et le Japon conclu en janvier 2023 visant à stopper l'exportation des machines de photolithographies de l'entreprises ASML<sup>44</sup>. Le périmètre de définition des composants électronique avancés a été revu, et trois niveaux de contrôle ont été créés : **un premier niveau pour lequel une présomption de refus d'exportation est appliquée** (faisant peser sur l'exportateur la charge de prouver que la transaction ne présente pas de risque pour la sécurité nationale américaine) ; un second niveau soumis à un processus de notification préalable à l'exportation ; un troisième niveau portant sur les puces non couvertes par les deux premiers niveaux, exemple de restrictions. Le ciblage géographique des mesures, auparavant restreint à la Chine et Macao, est étendu à une liste de 21 pays<sup>45</sup> soumis à embargo américain sur la vente d'armes (dont l'Iran et la Russie) pour la partie équipements, et de 43 pays sur les composants électroniques avancés afin de lutter contre le contournement via des pays tiers.

Plus récemment, le département du Trésor américain a publié une proposition de réglementation<sup>46</sup> visant à limiter les investissements sortants vers la Chine, Hong-Kong et Macao dans trois domaines jugés stratégiques : les semi-conducteurs, le quantique et l'intelligence artificielle. Ce mécanisme s'applique directement aux « *US persons* » et non pas aux seules entreprises domiciliées aux États-Unis. Dans ce cadre, toute « *US person* » doit prendre « toutes mesures raisonnables » pour (i) empêcher une entité étrangère qu'elle « contrôle » d'effectuer une transaction interdite et (ii) informer le Trésor de la réalisation de celles soumises à obligation de notification. Il possède donc un caractère extraterritorial fort, qui pourrait s'appliquer aux entreprises européennes dans plusieurs cas de figures : s'il s'agit d'une succursale domiciliée aux États-Unis d'une entreprise européenne ; s'il s'agit de la succursale domiciliée dans l'UE d'une entreprise américaine ; si, bien qu'en ayant une personnalité juridique distincte, il s'agit d'une entité « contrôlée » par une « *US person* ». <sup>47</sup>

---

<sup>45</sup> Chine (y.c. Hong-Kong et Macao), Afghanistan, Biélorussie, Birmanie, Cambodge, RCA, RDC, Cuba, Erythrée, Haïti, Iran, Irak, Corée du Nord, Liban, Libye, Russie, Somalie, Sud-Soudan, Soudan, Syrie, Venezuela, et Zimbabwe. Les filiales à l'étranger d'entités chinoises ou de cette liste de pays seront aussi désormais ciblées par le dispositif.

<sup>46</sup> *Provisions Pertaining to U.S. Investments in Certain National Security Technologies and Products in Countries of Concern*, Notice of proposed rulemaking, federal register, juillet 2024.

## 2.2. La Chine vise l'autosuffisance mais fait face à des restrictions américaines qui limitent son accès aux technologies de pointe

### 2.2.1. Dans un contexte de tensions géopolitiques avec Taiwan et les États-Unis, la Chine vise l'autosuffisance

La stratégie de la Chine concernant le développement des semi-conducteurs a été définie dès 2015 dans le cadre du plan « *Made In China 2025* ». **Elle vise notamment à porter la production de semi-conducteurs à 70 % des besoins domestiques d'ici 2025.** Dès 2014, la Chine a ainsi investi massivement pour augmenter ses capacités de production, en ciblant spécifiquement le segment des fonderies<sup>48</sup>. Cette stratégie comporte également un second volet qui vise à conquérir des marchés à l'export sur le long-terme, notamment sur le segment des puces de haute technologie (concept de circulation duale défini dans le 14<sup>e</sup> plan quinquennal 2021-2025)<sup>49</sup>.

Si le plan chinois visait initialement l'ensemble des composants électroniques, certains objectifs ont dû être réorientés suite aux mesures protectionnistes mises en œuvre par les États-Unis à partir de 2022. En particulier, le développement des capacités de production des puces les plus avancées a été ralenti par les mesures de contrôle export américains. L'accès aux machines de photolithographie EUV de l'entreprise néerlandaise ASML a notamment été coupé, retardant de plusieurs années la capacité pour la Chine de produire des composants à l'état de l'art. Suite à l'entrée en vigueur de ces mesures, la stratégie chinoise semble être la suivante :

- ◆ **à court terme, accélération des investissements concernant la production de puces matures et montée en puissance sur le segment des mémoires** : pendant toute la phase de rattrapage sur le segment des puces de haute technologie, la croissance chinoise sur le marché des semi-conducteurs est soutenue par le marché des puces matures, notamment utilisées dans le domaine de l'automobile, de l'internet des objets ou de l'industrie. La Chine occupe d'ores et déjà une place prépondérante dans la fabrication de ce type de puces<sup>50</sup>, qu'elle cherche à consolider via des subventions massives à ses fondeurs et la mise en œuvre de mesures protectionnistes.

En parallèle, le développement du marché chinois des puces mémoires fait l'objet d'un fort soutien gouvernemental dans un contexte de croissance portée par l'IA et le Cloud. La Chine comporte deux entreprises spécialisées respectivement dans les mémoires vives et dans les mémoires non volatiles, YMTC et CXMT. Le volume de production de cette dernière a quasiment doublé en 2024, ce qui devrait lui permettre de s'établir comme le 4<sup>ème</sup> acteur mondial des DRAM derrière Samsung, SK Hynix et Micron, et ainsi de pénétrer un marché où les acteurs coréens et japonais sont prédominants ;

---

■ [REDACTED]

■ [REDACTED]

■ [REDACTED]

■ [REDACTED]

■ [REDACTED]

- ◆ **à moyen et long termes, une montée en compétence accélérée sur la production de machines de photolithographie et dans le domaine du design** : la Chine est actuellement en train de développer ses propres machines de photolithographie EUV afin de ne plus dépendre d'ASML. Si les avis des experts divergent quant à la temporalité de développement (entre 5 et 10 ans)<sup>52</sup>, une analyse effectuée par le média allemand DW concernant les brevets déposés par l'entreprise chinoise SMEE (principal constructeur chinois de machines de lithographie) montre qu'une série de brevets concernant des machines de lithographie EUV en 7 nm a récemment été déposée, démontrant des recherches actives et des premiers résultats dans le domaine<sup>53</sup>.

En aval de la chaîne de valeur, les mesures américaines ont également un impact sur la stratégie chinoise de développement de l'intelligence artificielle. En particulier, l'accès aux puces GPU de l'entreprise américaine Nvidia est actuellement restreint, alors même que les besoins en calcul pour développer des modèles d'IA générative sont plus importants en Chine du fait de la structure de la langue. En réaction, la Chine déploie des mesures de soutien massives (via le *Big Fund* notamment) en faveur des entreprises nationales de *design* (Cambricon, Biren, Iluvatar, Hygon, C\*Core) et de fabrication de puces IA (SMIC, Huahong). Hisilicon (filiale de Huawei dédiée au design de puces) aurait d'ores et déjà mis au point une puce d'une qualité comparable aux puces Nvidia, dotée d'une finesse de gravure de 7 nm, probablement produite grâce aux machines de lithographie ASML livrées avant embargo américain<sup>54</sup>.

Si les objectifs annoncés par le plan « *Made In China 2025* » se sont finalement révélés trop ambitieux (le seuil étape de 40 % n'était pas atteint en 2020, année où seulement 16 % de la demande chinoise en semi-conducteurs était fourni par des entreprises chinoise)<sup>55</sup>, **la filière des semi-conducteurs chinoise est actuellement en train de monter en puissance sur l'ensemble de la chaîne de valeur**. Les mesures américaines semblent avoir pour principal effet de ralentir ce développement sans pouvoir le stopper, et de réorienter la stratégie de court terme de la Chine vers les puces matures. Indirectement, cela pourrait venir compromettre la stratégie européenne qui vise le même segment de production (cf. 2.3.3).



## 2.2.2. Tous les moyens de soutien à l'industrie locale sont mis en œuvre pour favoriser la production domestique

La stratégie chinoise repose sur un panel complet d'outils visant à développer la production domestique de semi-conducteurs :

- ◆ **accès aux capitaux, prêts et subventions** : en 2014, le ministère chinois de l'information et des technologies a instauré le « fonds national d'investissement pour les circuits intégrés », surnommé « *big fund* ». Ce fonds a initialement été approvisionné par des entreprises d'Etat et des institutions financières publiques, notamment la *China Development Bank* et l'entreprise publique *China Tobacco*<sup>56</sup>. Dans un premier temps (période 2014-2019), le « *big fund* » a financé la construction de nouvelles capacités de production domestiques (fonderies), considérées par le gouvernement chinois comme le point névralgique de la chaîne de valeur. Durant cette période, le fonds a ainsi investi dans 77 projets et 55 entreprises, pour un montant total de 138,7 Md CNY, soit 19,6 Md\$. Une seconde phase d'investissements a été lancée en 2019, cette fois-ci axée sur la chaîne aval (packaging et intégration), pour un montant total d'investissements de 204,15 Md CNY, soit 28,9 Md\$<sup>57</sup>. Enfin, une troisième phase d'investissement est lancée actuellement. Le « *Big Fund* » a été réabondé à hauteur de 344 Md CNY (47,5 Md\$) afin de limiter la dépendance chinoise sur certaines technologies critiques et de rattraper le retard sur les puces de hautes technologies<sup>58</sup>. Le montant total des sommes engagées depuis 2014 serait donc de 96 Md\$<sup>59</sup> ;
- ◆ **appui local** : en complément du soutien fédéral, les gouvernements locaux ont mis en œuvre à leur échelle des mesures de subventions de la filière. Quatorze provinces et municipalités autonomes ont par exemple mis en place des fonds de soutien à la filière en juin 2020, sans qu'il soit possible de cartographier l'ensemble des mesures de soutien mises en œuvre à l'échelon provincial, municipal ou du district<sup>60</sup> ;
- ◆ **avantages fiscaux** : un ensemble de dispositifs fiscaux a été mis en place notamment à destination des entreprises produisant des puces de haute technologies (finesse de nœud <28 nm), dispensées d'impôt sur les sociétés pour une durée de 10 ans. L'État favorise également l'implantation d'entreprises électroniques au sens large (*design*, fonderie, packaging, intégration, test et développement de logiciel) *via* une exemption d'impôt sur les sociétés pendant deux ans à compter de la première année excédentaire, et une réduction partielle de ce même impôt (12,5 % au lieu de 25 %) pour les deux années suivantes. Depuis 2023, certaines entreprises peuvent également bénéficier d'un abattement de 15 % de la TVA<sup>61</sup> ;
- ◆ **formation, emploi et attractivité** : la Chine mise à la fois sur la montée en compétence interne de ses ingénieurs, *via* la mise en place de formations universitaires dédiées et le développement des synergies avec les entreprises électroniques, et le soutien de scientifiques et d'ingénieurs étrangers. Des municipalités et provinces ont ainsi mis en place des subventions facilitant l'installation de talents étrangers.<sup>62</sup>

---

■ ■ ■  
<sup>57</sup> Les investissements ont néanmoins « été » ralentis suite à la révélation de scandales de corruption à l'automne 2022

<sup>58</sup> Q. Min et H. Wei, (28 mai 2024) : « China Piles \$47.5 Billion Into 'Big Fund III' to Boost Chip Development », [Caixin Global](#), consulté le 10 décembre 2024.

- ◆ **facilité d'implantation** : certains échelons locaux facilitent l'implantation des entreprises, par exemple en finançant une partie des loyers. C'est notamment le cas du district de Futian, qui prend en charge 60 % des loyers des entreprises nouvellement implantées<sup>63</sup>.
- ◆ **mesures protectionnistes** : dans un contexte de restrictions américaines sur le segment des puces les plus avancées, la Chine favorise directement ou indirectement son système productif.

**Cette stratégie globale, lancée plusieurs années avant les plans américains et européens, commence à porter ses fruits.** Elle a permis à la Chine de devenir un acteur important de l'électronique, notamment sur le segment des puces matures (plus d'un quart de la production mondiale sur le segment 20 nm-180 nm). Si les puces les plus avancées restent actuellement hors de portée de la Chine sur le plan technologique, elle est en train de rattraper son retard avec le développement de machines de lithographie domestiques par l'entreprise SMEE et le design de puces GPU par l'entreprise Hisilicon. L'entreprise SMIC, principale fonderie du pays, progresse et expérimente des niveaux de gravure de 7 nm. Enfin, sur le segment des mémoires, l'entreprise YMTC commence à concurrencer Micron, SK Hynix et Samsung, ce qui laisse présager une redistribution des parts de marché sur ces segments à plus ou moins long terme.

### 2.3. L'Union Européenne tente de réduire sa dépendance vis-à-vis des acteurs étrangers sur certains segments jugés stratégiques

#### 2.3.1. Les acteurs européens développent une stratégie de souveraineté partiellement coordonnée ciblée sur les besoins des industries domestiques aval

**Afin de réduire sa dépendance vis-à-vis de ses fournisseurs étrangers, la Commission européenne a fixé un objectif de 20 % de puces produites en Europe à l'horizon 2030.** Alors que le volume de production domestique est passé de 44 % en 1990, à 10 % en 2022 (cf. graphique 1), et que les entreprises européennes ont quitté la course au *More Moore* au début des années 2010, plusieurs industries aval stratégiques se trouvent en situation de dépendance vis-à-vis de producteurs étrangers. C'est notamment le cas de l'industrie automobile, qui a connu des ruptures importantes dans ses chaînes d'approvisionnement au moment de la crise COVID. Cet objectif global d'augmentation de la part de production domestique cache néanmoins des réalités très différentes selon les types de composants et les segments de la chaîne de valeur. Si la part de production de certains composants peut être augmentée dans les domaines de spécialité (analogique, puces matures, substrats spécialisés), l'Europe devrait demeurer vulnérable sur d'autres segments stratégiques (production de puces logiques avancées et de mémoires notamment) à moyen voire long terme. L'écosystème du design de puces avancées est également très embryonnaire en Europe et reste fortement dominé par les acteurs américains (cf. 1.2.1 et 1.2.2.).

<sup>63</sup> I. Deng, (7 juin 2023) : « Shenzhen's central business district offers chip-making incentives, with millions in subsidies for new projects », [MyNews](#), consulté le 10 décembre 2024.

**La prise de conscience de la fragilité des chaînes d’approvisionnement a conduit la Commission européenne à revoir ses ambitions et les moyens mis en œuvre pour soutenir la filière électronique domestique.** Au sein du *Chips Act*, la Commission a défini une stratégie globale dite « *initiative semi-conducteurs pour l’Europe* »<sup>65</sup> visant à renforcer les capacités domestiques sur l’ensemble de la chaîne de valeur. Le design, la fonderie, et la phase de test et packaging sont ciblés, et cinq axes opérationnels y sont définis :<sup>66</sup>

- ◆ constituer des capacités avancées de conception pour des technologies des semi-conducteurs intégrés ;
- ◆ renforcer les lignes pilotes avancées existantes et en développer de nouvelles (TRL 3 à TRL 8) dans toute l’Union européenne afin de permettre le développement et le déploiement de technologies de pointe en matière de semi-conducteurs ;
- ◆ mettre en place des capacités de technologie et d’ingénierie avancées pour accélérer le développement innovant de puces quantiques et de technologies connexes des semi-conducteurs ;
- ◆ établir un réseau de centres de compétences dans toute l’Union européenne en améliorant les installations existantes ou en en créant de nouvelles ;
- ◆ faciliter l’accès au financement par l’emprunt et aux fonds propres en particulier pour les jeunes pousses, les entreprises en expansion, les PME et les petites entreprises à moyenne capitalisation. La Commission devrait mettre en place une facilité d’investissement spécialisée dans les semiconducteurs (« fonds semiconducteurs »), proposant des solutions sous forme de fonds propres et de prêts, grâce à un mécanisme de financement mixte au titre du fonds InvestEU<sup>67</sup> et de la Banque européenne d’investissement.

En septembre 2024, de nouvelles recommandations ont été émises dans le cadre du rapport Draghi. Il appelle notamment à mettre en place une politique incitative (subventions, avantages fiscaux) pour **développer les entreprises *fabless* européennes**. Considérant les fonderies à l’état de l’art hors de portée, le rapport recommande de soutenir le **développement et l’industrialisation des technologies de puces matures**, mais également les **industries les plus aval** de la production de semiconducteurs, à savoir « *back-end 3D advanced packaging, advanced materials and finishing processes* ». Le rapport Draghi estime également que la **coopération européenne doit être renforcée et qu’une gestion au niveau européen des ressources budgétaires destinées à soutenir cette stratégie serait souhaitable**. En effet, dans le cadre des PIIEC et du *Chips Act*, la Commission n’exerce pas de coordination entre les initiatives des États membres, qui financent leurs industries à hauteur de leurs moyens et de leurs ambitions respectives.

---

<sup>65</sup> Règlement (UE) 2023/1781 du parlement européen et du conseil du 13 septembre 2023 établissant un cadre de mesures pour renforcer l’écosystème européen des semi-conducteurs.

<sup>66</sup> *Ibid*

<sup>67</sup> Règlement (UE) 2021/523 du Parlement européen et du Conseil du 24 mars 2021 établissant le programme InvestEU.

### 2.3.2. Les financements individuels des pays membres sont conséquents mais pas toujours coordonnés, et concernent essentiellement la production de puces matures

**Le soutien de l'industrie électronique européenne passe d'abord par un soutien direct via un système de subventions par les États membres aux entreprises de la filière.** Depuis 2018, les acteurs industriels européens ont ainsi été soutenus par trois grands programmes de subventions, pour un montant global de 31,5 Md€ fléchés<sup>68</sup> : le premier projet important d'intérêt économique commun (PIIEC 1) dont le plan Nano constitue la déclinaison française, le second projet important d'intérêt économique commun, dit PIIEC-MECT, et le *Chips Act*. Ces trois programmes sont financés par les pays membres, sur autorisation préalable de la Commission pour pouvoir déroger au régime d'aides d'État. Quelques autres programmes (notamment les joint undertakings ECSEL et KDT), dont le volume financier est très inférieur, sont financés en partie directement par l'Europe.

**Le premier PIIEC (2018-2022), a financé à hauteur de 2,2 Md€** des projets de recherche et développement et de première industrialisation en Allemagne, en France (*cf.* Annexe I), au Royaume-Uni, en Italie et en Autriche, couvrant cinq thématiques distinctes :

- ◆ composants numériques de basse consommation : en France, cet axe a notamment visé le développement de la technologie FDSOI par le CEA-LETI et l'entreprise STMicroelectronics ;
- ◆ composants de puissance ;
- ◆ capteurs intelligents ;
- ◆ équipements optiques avancés ;
- ◆ semi-conducteurs composites : en France, cet axe a notamment visé le développement des substrats GaN et SiC par la société Soitec.

**Le second PIIEC, dit PIIEC MECT (en cours, période 2022-2026) doit financer à hauteur de 8,2 Md€** des projets de recherche et développement mais également de déploiement capacitaire dans 14 pays européens. **Il est concomitant avec le *Chips Act* dans le cadre duquel plus de 21 Md€ de subventions ont été annoncées** par les États membres, dont plus de 16 Md€ en Allemagne pour les projets de l'entreprise américaine Intel (actuellement suspendus), du taiwanais TSMC et d'Infineon, et 2,9 Md€ en France pour le projet conjoint de STMicroelectronics et de Global Foundries à Crolles (participation de GlobalFoundries *a priori* suspendue). Ces deux programmes (PIIEC ME-CT et *Chips Act*) constituent un tournant de la stratégie européenne, dans la mesure où ils permettent de financer directement la construction de capacités de productions. Les deux projets les plus importants sont portés par des acteurs étrangers (Intel d'une part et TSMC d'autre part). Le premier bénéficiaire européen est l'entreprise STMicroelectronics, qui devrait bénéficier sur la période 2018-2026 de 3,3 Md€ au titre des deux IPCEI et du *Chips Act*.

**Graphique 2 : Liste des subventions accordées par les pays membres de l'union européenne depuis 2018**

Entreprise principale	Pays d'implantation	Siege social du porteur de projet	Montant du projet (en M€)	Montant de la subvention (en M€)	Programme de financement
Intel <sup>69</sup>	Allemagne	USA	30 000	10 000	Chips Act
TSMC	Allemagne	Taiwan	10 000	5 000	Chips Act
GlobalFoundries & STMicroelectronics <sup>70</sup>	France	USA, Pays Bas	7 500	2 900	Chips Act
Intel <sup>71</sup>	Pologne	USA	4 200	1 600	Chips Act

<sup>68</sup> Dont 11,6Md€ liés aux projets d'Intel en Allemagne et en Pologne suspendus.

<sup>69</sup> Projet suspendu.

<sup>70</sup> Participation compromise de Global Foundries.

<sup>71</sup> Projet suspendu.

## Annexe VI

Entreprise principale	Pays d'implantation	Siege social du porteur de projet	Montant du projet (en M€)	Montant de la subvention (en M€)	Programme de financement
Infineon	Allemagne	Allemagne	5 000	1 000	Chips Act
AT&S	Autriche	Non disponible (N.D.)	N.D.	110	IPCEI MECT
BLK	Allemagne	N.D.	N.D.	236	IPCEI MECT
Bosch	Allemagne	Allemagne	N.D.	751	IPCEI MECT
Global Foundries	Allemagne	USA	N.D.	730	IPCEI MECT
Infineon	Allemagne	Allemagne	N.D.	442	IPCEI MECT
Nokia	Allemagne	N.D.	N.D.	136	IPCEI MECT
NXP Semiconductors	Allemagne	Pays Bas	N.D.	344	IPCEI MECT
Osram	Allemagne	N.D.	N.D.	324	IPCEI MECT
Zeiss	Allemagne	Allemagne	N.D.	411	IPCEI MECT
ZF	Allemagne	N.D.	N.D.	644	IPCEI MECT
Soitec	France	N.D.	N.D.	185	IPCEI MECT
STMicroelectronics	France	Pays Bas	N.D.	452	IPCEI MECT
MEMC	Italie	N.D.	N.D.	103	IPCEI MECT
SIAE	Italie	N.D.	N.D.	149	IPCEI MECT
STMicroelectronics	Italie	Pays Bas	N.D.	687	IPCEI MECT
Vigo	Pologne	N.D.	N.D.	103	IPCEI MECT
IRVI	Espagne	N.D.	N.D.	104	IPCEI MECT
Openchip	Espagne	N.D.	N.D.	206	IPCEI MECT
Autres projets financés dans le second PIIEC	Non Applicable (N.A)	N.A	N.D.	2 012	IPCEI MECT
Global Foundries	Allemagne	USA	N.D.	298	IPCEI 1
Infineon	Allemagne	Allemagne	N.D.	113	IPCEI 1
Bosch	Allemagne	Allemagne	N.D.	200	IPCEI 1
STMicroelectronics	France	Pays Bas	N.D.	228	IPCEI 1
STMicroelectronics	Italie	Pays Bas	N.D.	789	IPCEI 1
Autres projets financés dans le premier PIIEC	N.A	N.A	N.D.	557	IPCEI 1

*Source : Mission, à partir de des comptes rendus de la Commission européenne, des rapports d'informations des bénéficiaires français, d'articles de presse.*

**Certains pays, notamment la France, ont également mis en place des politiques fiscales de soutien à la R&D.** Le crédit impôt recherche (CIR) bénéficie ainsi largement à la filière électronique. Il représente 536 M€ de crédit d'impôt entre 2018 et 2021 pour les six chefs de file du programme Nano 2022. Selon les industriels, le crédit d'impôt recherche, associé aux autres formes de soutien public à la R&D (notamment l'IPCEI), permet de baisser d'environ 30 % le coût du travail pour les personnels affectés à des tâches de recherche<sup>72</sup>. Les autres types de soutien, prêts, avances remboursable, prise de participation et commande sont mis en œuvre ponctuellement. L'entreprise Soitec a ainsi pu bénéficier d'un prêt à hauteur de 200 M€ dans le cadre du premier PIIEC ; certaines entreprises fournissant le secteur de la défense peuvent également bénéficier de commandes directes (exemple de Lynred en France). Les mesures visant à protéger le marché intérieur (contrôle export, contrôle des investissements sortants, tarification douanière anti dumping et anti subvention) sont à ce stade peu développées en Europe.

<sup>72</sup> *STMicroelectronics company presentation, Présentation de STMicroelectronics, juillet 2024.*

### 2.3.3. La stratégie européenne est menacée par le « Chips Act » américain et le plan « Made In China 2025 »

Les deux principaux atouts européens, à savoir l'entreprise ASML sur les machines de photolithographie haute performance, et les trois entreprises STMicroelectronics, Infineon et NXP sur les puces matures et les composants analogiques, se retrouvent fragilisés par les stratégies chinoises et américaines.

La stratégie commerciale de l'entreprise ASML a été profondément revue pour s'aligner sur l'approche américaine d'ostracisation de la Chine. Confrontée d'une part au droit extraterritorial américain et aux pressions diplomatiques des États-Unis sur les Pays-Bas, l'entreprise a dû cesser en 2023 de livrer ses machines de photolithographie aux fondeurs chinois. Cela constitue une perte potentielle concernant un marché important et en croissance, la Chine, mais également un dégât d'image dans la mesure où des contrats déjà signés ont dû être rompus. Par ailleurs, cette décision a amené la Chine à accélérer son programme de développement de ses propres machines, afin s'assurer son indépendance vis-à-vis d'ASML, **mettant à risque à plus ou moins long terme la suprématie technologique de l'Europe dans ce domaine**<sup>73</sup>.

Face à la volonté affichée des États-Unis de limiter leur accès aux technologies de pointe, la Chine a choisi d'accélérer ses investissements portant sur la production de puces matures, qui constitue d'ores et déjà l'un de ses domaines de spécialité. Ce tournant stratégique en termes d'offre est aligné avec la demande chinoise tirée par l'industrie de l'automobile électrique en forte croissance. À horizon 2028, les analystes estiment que l'offre chinoise devrait permettre de fournir 90 % de la demande domestique exprimée par les constructeurs automobiles<sup>74</sup>. **Cet axe de développement pour la Chine entre en conflit avec la stratégie européenne qui porte sur le même segment et vise les mêmes industries aval (notamment l'automobile), sans mettre en place de barrières commerciales<sup>75</sup> ou d'obligations d'achats pour les constructeurs domestiques.**

## 2.4. Taiwan cherche à maintenir sa position dominante dans le domaine la fabrication des composants électroniques avancés

### 2.4.1. Taiwan poursuit sa stratégie de long terme en s'appuyant sur son groupe phare TSMC, dans un contexte de forte tension avec la Chine qui tente de rattraper son retard technologique

**À Taiwan, l'industrie des semi-conducteurs<sup>76</sup> revêt une importance critique de par son poids dans l'économie locale.** Contrairement aux États-Unis, à la Chine ou à l'Europe pour qui l'enjeu de souveraineté de la filière électronique est lié à la disponibilité des composants pour les industries avales, la filière constitue intrinsèquement un enjeu de premier plan pour Taiwan.

---

<sup>74</sup> *Analysis of semiconductor Chinese market*, Note IBS, août 2024.

<sup>75</sup> Sur un autre segment industriel, la mise en place d'une surtaxe comprise entre 8 % et 35 % sur les véhicules électriques produits en Chine constitue une première au niveau de l'Union européenne. (30 octobre 2024 : « Droits de douane : l'UE adopte la surtaxe sur les voitures électriques chinoises », *La Tribune*)

<sup>76</sup> La première usine de semi-conducteurs construite à Taïwan date de 1969 (Texas Instruments), et l'île deviendra rapidement un des leaders asiatiques dans le domaine de l'assemblage. C'est en 1985 que le ministre taïwanais de l'économie K.T. Li embauche Maurice Chang, futur fondateur de TSMC, pour diriger l'industrie des puces taïwanaises.

Tableau 4 : Principales entreprises taiwanaises dans le domaine des semi-conducteurs en 2023

Nom	Segment	Activité principale	Chiffre d'affaires 2023 (Md\$)	Résultat net 2023 (Md\$)
TSMC	Fonderie	Services de fonderie de puces pour le calcul haute performance et les fabricants de smartphones	69,4	27
ASE	Test & emballage	Ensemble des services de test et d'emballage	19,0	1
MediaTek	Conception	Conception de systèmes sur puce (System-on-a-Chip) pour les appareils mobiles	13,9	2
UMC	Fonderie	Services de fonderie pour les technologies de la communication	7,1	2
Novatek	Conception	Conception de circuits intégrés pour pilotes d'affichages et de systèmes sur puce	3,5	0,7
Realtek	Conception	Conception de circuits intégrés pour produits multimédia et pour réseaux de communication	3,1	0,3
Winbond	Fonderie	Fabrication de circuits intégrés logiques ainsi que de mémoires flash et mémoires vives dynamiques	2,4	-0,04
Powertech	Test & Emballage	Ensemble des services de test et d'emballage	2,3	0,3
Phison	Conception	Conception de contrôleurs de mémoires flash	1,5	0,1
Nanya	Fonderie	Fabrication de mémoires vives dynamiques (DRAM)	1,0	-0,2

Source : Etude financière des 10 principales entreprises taiwanaises de semi-conducteurs, Note du service économique, 2 septembre 2024.

**La place unique de Taiwan dans l'univers des semi-conducteurs est liée au positionnement de l'entreprise TSMC, leader mondial de la fonderie des puces et principal verrou productif au niveau mondial.** L'essor de TSMC est lié à sa spécialisation précoce (dès les années 1980) sur le segment de la fonderie<sup>77</sup> et du développement concomitant du modèle *fabless* aux États-Unis. L'activité de l'entreprise a ainsi connu une première phase importante de croissance quand les clients initiaux de TSMC (des start-ups américaines spécialisées dans le design qui leur sous-traitaient la production) sont devenus des grands groupes internationaux (par exemple l'entreprise Xilinx). Au moment de l'explosion du marché des ordinateurs et des smartphones dans les années 2000, TSMC disposait ainsi de marges financières importantes et de technologies à l'état de l'art dans le domaine de la production de puces haute performance. Cela lui a permis de gagner des parts de marchés auprès de grands groupes américains *fabless*. Alors que la poursuite de l'effort de miniaturisation induisait des niveaux d'investissement de plus en plus importants, **TSMC a conduit la course au *More Moore*, puis est devenu le leader mondial sur les puces logiques avancées** et l'un des trois acteurs au niveau mondial à rester dans la course au *More Moore* dans les années 2020 (avec Intel et Samsung).

<sup>77</sup> Cette spécialisation découle d'un choix stratégique de Maurice Chang, fondateur de TSMC et ancien d'Intel débauché par le gouvernement taiwanais en 1985

## Annexe VI

En 2023, TSMC a ainsi réalisé 80 % de son chiffre d'affaires sur les segments des smartphones et des ordinateurs, principalement auprès de clients américains (68 % du chiffre d'affaires, dont Apple, Nvidia, Qualcomm). Son positionnement de marché et son avance technologique en font un acteur unique sur le plan comptable, et le seul ou presque à disposer de l'assise financière nécessaire pour poursuivre actuellement la course au More Moore et construire des fonderies de dernière génération<sup>78</sup> :

- ◆ un chiffre d'affaires de 69 Md\$ et un résultat net 2023 de 27 Md\$ en 2023 ;
- ◆ un taux de croissance annuel moyen de ses activités de 15 % entre 2014 et 2022 ;
- ◆ une marge opérationnelle (EBITDA) relativement stable d'environ 70 % (contre 31 % en moyenne dans l'industrie), liée à la spécialisation de TSMC sur des segments à très forte valeur ajoutée ;
- ◆ une trésorerie nette de 24 Md\$ en 2023 ;
- ◆ des dépenses d'investissements qui s'élèvent à 30,5 Md\$ en 2023 (44 % du chiffre d'affaires), dont 5,9 Md\$ sur les seuls investissements en R&D (9 % du chiffre d'affaires).

Alors que la domination de TSMC semble n'avoir jamais été aussi forte, la stratégie du groupe connaît un tournant important depuis 2021 principalement lié à la volonté américaine de limiter le développement technologique chinois. Jusqu'à la fin des années 2010, TSMC évoluait dans un univers totalement mondialisé. L'entreprise avait pour 1<sup>er</sup> client Apple et pour 2<sup>ème</sup> client Huawei<sup>79</sup>. À partir de 2021, la mise en place par le département du commerce de normes à portée extraterritoriales et la mobilisation du poids diplomatique américain ont obligé les acteurs à se positionner dans la recomposition régionale de l'industrie qui s'amorçait (cf. 2.1.2). La situation de Taïwan s'est alors révélée particulièrement précaire, du fait de sa proximité géographique avec la Chine et de son exposition au marché américain (qui représente 68 % des débouchés de TSMC en 2023<sup>80</sup>).

Dans ce contexte, à rebours de sa stratégie originelle<sup>81</sup>, **l'entreprise TSMC a entrepris de délocaliser une partie de sa production à l'étranger, et notamment aux États-Unis, au Japon et en Allemagne**. Cela doit lui permettre tout à la fois de limiter le risque géopolitique lié à la proximité chinoise (cf. Annexe V), de résoudre les difficultés liées à la pénurie locale de foncier et au manque d'eau, et de satisfaire ses principaux clients soucieux de réduire leur niveau de vulnérabilité sur la chaîne de valeur. Si l'entreprise a accepté de délocaliser une partie de sa production de puces logiques avancées (5, 4 et 3 nm), elle devrait néanmoins conserver sur l'île de Taiwan ses technologies les plus pointues (2 nm et lignes pilotes en 1nm)<sup>82</sup>. Un effort de diversification technologique serait également engagé, notamment sur le segment des imageurs.

---

<sup>78</sup> Etude financière des 10 principales entreprises taiwanaises de semi-conducteurs, Note du service économique, 2 septembre 2024 ; *Analysis of semiconductor CAPEX as well as supply and demand*, Rapport IBS, mai 2024.

Dans le sillage de TSMC, les principales entreprises taiwanaises ont adopté une stratégie de délocalisation partielle<sup>83</sup>. Taiwan dispose en effet de savoir-faire sur l'ensemble de la chaîne de valeur électronique, avec 8 % des parts de marché mondiales sur le segment du design et trois entreprises dans le TOP 10 mondial (Mediatek, Novatek et Realtek représentent au total plus de 20 Md\$ de chiffres d'affaires en 2023, cf. tableau 4) et 28 % des parts de marché mondiales sur le segment du test et du *packaging* (le leader ASE est taiwanais, 19 Md\$ de chiffres d'affaires en 2023, cf. tableau 4)<sup>84</sup>.

#### 2.4.2. Le soutien à la R&D passe par des dispositifs fiscaux avantageux et un mécanisme de capital risque original

Le développement de l'écosystème électronique à Taiwan a été favorisé par la mise en place d'incitations fiscales à la recherche et au développement, et par un soutien administratif et logistique de la part du gouvernement. En 2023, ces mesures ont été complétées par un volet subventions dans le cadre du *Taiwan Chips Act*, qui vise la conception de puces dédiées à l'intelligence artificielle.

**Le principal mécanisme de soutien direct à la filière demeure l'écosystème de crédit d'impôts (limité à 50 % de l'impôt sur les sociétés) destiné à maintenir les entreprises taiwanaises à la frontière technologique :**

- ◆ crédit d'impôt pour la recherche : réduction de l'impôt sur les sociétés allant de 15 % (*Basic R&D Tax Credit*) à 25 % (*Higher R&D Tax Credit*) des dépenses de R&D pour les entreprises détenant une position essentielle dans les chaînes d'approvisionnement mondiales<sup>85</sup>. Ce crédit d'impôts peut être étalé dans le temps, ce qui contribue à lisser les cycles du marché de l'électronique ;
- ◆ crédit d'impôt pour les investissements, à hauteur de 5 % des dépenses d'investissement annuels ;
- ◆ crédit d'impôts pour la licence de propriété intellectuelle à des clients étrangers : les entreprises concernées peuvent déduire de leur impôt jusqu'à 200 % des dépenses de R&D ou le montant des revenus de propriété intellectuelle vendus à l'étranger. Ce crédit d'impôt n'est pas cumulable avec le crédit d'impôt pour les investissements ;
- ◆ crédit d'impôt pour les créateurs de propriété intellectuelle : les inventeurs qui licencient leur propriété intellectuelle à des entreprises taiwanaises en échange d'actions de l'entreprise peuvent déduire la totalité du montant de ces actions de leur impôt sur le revenu.

<sup>85</sup> En janvier 2024, cette deuxième catégorie concernait les entreprises TSMC, MediaTek, RealTek, Novatek, Delta Electronics, Nanya Technology, Phison et Winbond.

## Annexe VI

La recherche et le développement dans le domaine des semi-conducteurs est également favorisée par l'existence d'un important centre de recherche public, l'*Industrial Technology Research Institute* (ITRI, qui est notamment à l'origine de l'essaimage de TSMC et d'UMC). En 2023, l'ITRI disposait de revenus de 26,6 Md TWD (760 M€), issus à 25 % de la R&D technologique, de services à l'industrie (33 %) et de commandes publiques (42 %). L'agence comporte 6400 employés, en majorité des chercheurs. Placé sous l'autorité du ministère de l'économie, l'ITRI a pour triple objectif de :

- ◆ développer des technologies avancées en vue de leur commercialisation (32 600 brevets actifs) ;
- ◆ encourager le rapprochement des universités, de l'industrie et des partenaires internationaux ;
- ◆ incuber et essaimer des startups dans des secteurs technologiques.

**L'ITRI présente par ailleurs la particularité de disposer d'une filiale de capital-risque, l'*Industrial Technology Investment Corporation* (ITIC).** L'ITIC gère un portefeuille de 600 M\$ d'actifs sous gestion à travers différents fonds et s'appuie sur les compétences technologiques de sa maison-mère dans ses choix d'investissements. L'ITIC a contribué à l'essaimage de grandes entreprises taiwanaises telles que TSMC et UMC. Elle investit également dans des entreprises internationales, dont certaines start-up françaises<sup>86</sup>.

Depuis 2023, le gouvernement a mis en place un soutien direct sous forme de subventions pour renforcer le positionnement de l'industrie taiwanaise sur le design de puces IA et la recherche sur les nouveaux matériaux. Doté de 300 Md TW\$ (soit environ 8,5 Md€) sur la période 2024-2033, il s'agit d'un plan de rattrapage sur un segment ciblé, qui implique les principales entreprises de *design* taiwanaises, dont Mediatek, Novatek, Realtek, Neuchips et Sensortek.

Enfin, le gouvernement taiwanais soutient de façon indirecte l'écosystème des entreprises électroniques *via* la mise en place de facilités de gestion (service de guichet unique pour les démarches administratives), d'un cadre fiscal avantageux et **la mise à disposition d'une infrastructure intégrée et subventionnée (transports, foncier, eau, électricité) qui favorise le développement de clusters académico-industriels (*science parks*).**

### 2.4.3. Les technologies de semi-conducteurs composites offrent des perspectives de partenariats entre les entreprises françaises et l'écosystème taiwanais

**En lien avec leur effort de diversification technologique, les entreprises électroniques taiwanaises investissent le champ des matériaux composites.** En 2022, l'Américain Efficient Power Conversion (EPC) s'associait au Taïwanais Vanguard International Semiconductor Corp. (VIS)<sup>87</sup> pour produire des semi-conducteurs de puissance à base de nitrure de gallium (GaN) sur des tranches de 8 pouces (200 mm)

Sur ce segment émergent et en forte croissance, les entreprises taiwanaises se trouvent en situation en concurrence avec des entreprises européennes d'une part et les entreprises chinoises<sup>89</sup> d'autre part. En Chine, l'entreprise Innoscience développe ainsi la technologie du nitrure de gallium sur wafers 200 mm.

<sup>86</sup> Dont des start-ups françaises, en particulier Scintil Phononics et Wise Integration.

<sup>87</sup> (13 décembre 2022) : « EPC and VIS Partner on 8in GaN Power Semiconductor Manufacturing », [EE Times Asia](#), consulté le 10 décembre 2024.

<sup>89</sup> En Chine, l'entreprise Innoscience développe ainsi la technologie du nitrure de gallium sur wafers 200 mm (8 mars 2022 : « 8-inch GaN-on-Si Wafers Manufacturing Technology », [EE Times Asia](#), consulté le 10 décembre 2024).



## 2.5. La Corée du Sud est l'un des seuls acteurs à posséder un savoir-faire sur l'ensemble de la chaîne de valeur et souhaite renforcer son leadership sur le segment des puces logiques

### 2.5.1. La Corée du Sud dispose de deux acteurs dominants sur le segment des mémoires

L'industrie électronique coréenne repose sur deux acteurs dominants, Samsung et SK Hynix, spécialisés dans la conception et la production de mémoires. Ces deux entreprises emploient entre 1,5 % et 2 % de la population active du pays<sup>94</sup>. En 2022, le chiffre d'affaires de ces deux entreprises sur le seul segment des mémoires s'est élevé à plus de 80 Md\$, soit 70 % des parts de marché au niveau mondial<sup>95</sup>. Elles représentent 95 % du marché des mémoires volatiles avec l'américain Micron Technology et 90 % du marché des mémoires non volatiles avec le japonais Kioxia et l'américain Western Digital. Si la branche semi-conducteur de l'entreprise Samsung est partiellement diversifiée (production de composants logiques et optiques), l'entreprise SK Hynix est complètement spécialisée dans la production de mémoires.

---

<sup>90</sup> Le nitrure de gallium est un semi-conducteur qui possède des propriétés électroniques et optiques recherchées pour le développement d'applications optoélectroniques et de hautes fréquences. Associé à un substrat carbure de silicium (SiC) à haute conductivité thermique, le nitrure de Gallium apporte aux applications de puissance une bien meilleure performance et des atouts non négligeables pour la mobilité électrique (*Les semi-conducteurs composites : un segment très prometteur pour la coopération franco-taiwanaise*, Note du service économique, 6 juillet 2023.)

<sup>91</sup> *STMicroelectronics and TSMC Collaborate to Accelerate Market Adoption of Gallium Nitride-Based Products*, [Communiqué de presse commun](#) STMicroelectronics et TSMC, 20 février 2020.



<sup>94</sup> A titre de comparaison, les six chefs de files représentent environ 15 000 emplois en France, soit 0,05 % de la population active. Données population active : [Banque Mondiale](#)

<sup>95</sup> *Nano 2022/IPCEI Microelectronics, rapport d'informations de STMicroelectronics, année 2022*, Rapport de STMicroelectronics, mai 2023 ; *Corée du Sud, les semi-conducteurs dans une tenaille géopolitique*, Note du service économique, 19 avril 2024

**L'entreprise Samsung est également l'une des trois seules entreprises au niveau mondial à disposer de capacités de fonderie à l'état de l'art**, avec l'américain Intel et le taiwanais TSMC. Le développement de la fonderie est au cœur de la stratégie de Samsung, qui a annoncé viser la place de numéro un mondial sur le segment des composants logiques à horizon 2030. Il s'agit pour l'entreprise de se positionner sur un segment en croissance mais également de contrebalancer la forte cyclicité du marché mémoire<sup>96</sup> qui représente actuellement la majorité de son activité. Elle investit très fortement pour rester dans la course au *More Moore*, avec des niveaux de CAPEX compris entre 20 % et 28 % de son CA entre 2018 et 2023, contre 5 % au maximum en 2023 pour les entreprises ayant quitté la course à la miniaturisation. Malgré ces investissements très importants (plus de 95 Md\$ entre 2021 et 2023)<sup>97</sup>, Samsung peine à gagner des parts de marché sur le segment fonderie face à son principal concurrent TSMC (62 % de parts de marchés au niveau mondial en 2024<sup>98</sup>).

### **2.5.2. Les industriels privés investissent pour développer leur activité mais bénéficient d'un soutien public limité**

**Les entreprises coréennes ont annoncé des investissements privés massifs dans les 20 prochaines années pour développer l'industrie des semi-conducteurs et créer un cluster au sud de Seoul.** Le volume d'investissement projeté (de l'ordre de 450 Md\$ sur 20 ans), essentiellement porté par Samsung et SK Hynix, doit permettre d'augmenter les moyens de production domestique pour gagner des parts de marché sur le segment des puces logiques. Dans un contexte géopolitique dégradé, il s'agit également de renforcer le niveau de souveraineté coréenne sur l'ensemble de la chaîne de valeur. En amont, le gouvernement coréen espère accueillir de nouvelles entreprises *fabless* ainsi que des fabricants de machines et d'intrants ; en aval, l'objectif est d'augmenter le nombre d'étapes de fabrication sur le sol coréen.<sup>99</sup>

**Contrairement aux plans portés par les États-Unis, la Chine et dans une moindre mesure l'Europe, les objectifs ambitieux de la Corée du sud s'appuient sur un soutien public limité.** À date, les investissements annoncés ne font pas l'objet de soutien direct sous la forme de subventions. Par ailleurs, le gouvernement coréen n'a pas mis en place de mesures protectionnistes, à l'exception de certaines limitations sur les contrats militaires et de défense<sup>100</sup>. Les investissements dans les technologies clefs stratégiques (dont les semi-conducteurs) bénéficient en revanche d'un crédit d'impôt qui est passé de 8 % à 15 %, voire 25 % pour les PME<sup>101</sup>. Dans un contexte de forte concurrence internationale, le timide soutien du gouvernement coréen fait localement l'objet de débats, mais le contexte politique domestique ne permet actuellement pas d'accentuer l'aide apportée aux grandes entreprises du secteur<sup>102</sup>.

<sup>97</sup> *Analysis of semiconductor CAPEX as well as supply and demand*, Rapport IBS, mai 2024.

<sup>98</sup> « [Contrepoint](#) : TSMC détient 62 % de parts de marché au deuxième trimestre », 30 août 2024.

<sup>101</sup> Les dépenses d'investissements constituent l'assiette de ce crédit d'impôt.

### 2.5.3. Malgré son avance technologique dans le domaine des mémoires et de la fonderie, la position de la Corée est délicate du fait du contexte géopolitique local et global

**La stratégie coréenne de développement de son industrie électronique est actuellement contrainte par deux facteurs exogènes** : le conflit économique entre la Chine et les États-Unis et la régionalisation de la chaîne de valeur électronique d'une part ; ses relations cycliques et complexes avec le Japon d'autre part.

**La Chine et les États-Unis représentent aujourd'hui deux marchés importants et non substituables pour les entreprises coréennes** :

- ◆ la quasi-totalité des *fabless*, concepteurs de puces logiques avancées et clients de Samsung sur la partie fonderie, sont américains (Broadcom, Qualcomm, Nvidia, AMD). Le domaine des mémoires, spécialité de Samsung et de SK Hynix est par ailleurs tiré par le développement de l'intelligence artificielle, segment sur lequel les entreprises américaines sont à la pointe<sup>103</sup> ;
- ◆ la Chine représente également en 2024 un débouché majeur pour la Corée (de l'ordre de 50 % des exportations de semi-conducteurs). Cette proportion devrait néanmoins décroître dans le cadre de la stratégie d'autosuffisance chinoise.

**À moyen terme, avec la baisse prévue de la demande chinoise dans le cadre de sa stratégie d'autosuffisance, les débouchés commerciaux pour l'industrie électronique coréenne semblent donc se concentrer vers les États-Unis.** Dans ce contexte, Samsung et SK Hynix cherchent à diversifier leurs marchés sur le sol américain, tout en bénéficiant des aides dans le cadre du *Chips Act*. Le 15 avril 2024, Samsung a ainsi annoncé une augmentation de son investissement au Texas de 17 Md\$ à 45 Md\$ pour ouvrir deux fonderies et un centre de R&D dédié aux applications d'IA. Cet investissement bénéficie d'un soutien financier du gouvernement fédéral à hauteur de 6,4 Md\$ (cf. tableau 3). La fonderie de Samsung au Texas devrait produire des puces de 2nm dès 2026, ce qui lui permettrait de se démarquer sur le sol américain de son concurrent TSMC, dont l'usine dans l'Arizona devrait atteindre ce niveau de miniaturisation en 2028. Dans le même temps, l'entreprise SK Hynix a annoncé un investissement de 3,9 Md\$ dans l'Indiana pour lequel elle devrait bénéficier de 450 M\$ de financement dans le cadre du *Chips Act*.<sup>104</sup>

**Dans le même temps, les fabricants coréens de semi-conducteurs souhaitent préserver le plus longtemps possible leur capacité à servir le marché chinois.** Les composants électroniques constituent le seul domaine significatif pour lequel la Corée dispose d'un avantage comparatif sur son voisin chinois : hors semi-conducteurs, les importations chinoises en provenance de la Corée sont en déclin depuis 10 ans. La stratégie « *Made In China 2025* » a conduit à une baisse des importations de biens intermédiaires depuis l'ensemble du monde qui touche particulièrement la Corée<sup>105</sup>. Dans ce contexte, l'électronique constitue un segment de spécialité qui permet d'équilibrer la balance commerciale avec la Chine.<sup>106</sup>

**La Corée est également dépendante de la Chine en termes de production. Les entreprises Samsung et SK Hynix sous traitent la production d'un tiers de leurs puces mémoires sur le sol chinois.** La législation extraterritoriale américaine de contrôle export sur les équipements de fabrication constitue donc un motif d'inquiétude important pour ces deux entreprises qui ne peuvent se passer de ces sites de production à court terme et doivent exporter des équipements de fabrication pour les maintenir à niveau<sup>107</sup>.

---

<sup>103</sup> *Ibid.*

<sup>104</sup> *Ibid.* ; C. Charron, (6 août 2024) : « SK Hynix lands \$450M in federal CHIPS », [Inside Indiana Business](#), consulté le 28 octobre 2024.

<sup>107</sup> L'administration américaine leur a accordé en octobre 2023 une dérogation.

Pris en étau entre les géants chinois et américains qui constituent ses principaux marchés, la Corée est également vulnérable vis-à-vis du Japon qui est en position de monopole ou quasi-monopole sur plusieurs segments critiques de l'amont de la chaîne de valeur (cf. annexe III). Or, le Japon a annoncé en 2019 restreindre les exportations d'intrants essentiels à destination de la Corée (fluorure d'hydrogène, polyamides fluorés, résines photosensibles et photomasques notamment) sur fond de désaccord concernant les réparations de guerre *post* seconde guerre mondiale<sup>108</sup>. Un rapprochement diplomatique semble amorcé depuis 2023, qui reste néanmoins fragile et limité : la seule annonce concrète porte sur la création d'un centre de R&D de Samsung au Japon pour un montant de 281 M\$<sup>109</sup>.

Enfin, la Corée accorde à ce stade un intérêt limité pour la chaîne de valeur européenne qui ne constitue pas un marché potentiel en l'absence de société *fabless* de taille suffisante.

### 2.6. Spécialisé sur le segment de la conception, le Royaume-Uni a développé une stratégie axée sur la recherche et l'innovation et vise une souveraineté partielle dans certains domaines critiques<sup>110</sup>

Pays pionnier de l'électronique, le Royaume-Uni reste présent à la frontière technologique dans certains domaines spécifiques, notamment les semi-conducteurs composites et la conception de circuits. **La société *fabless* ARM constitue le principal atout britannique sur la chaîne de valeur.** ARM est à l'origine d'une architecture de composants qui se retrouve dans de nombreux produits finaux (architecture RISC) pour laquelle elle détient la propriété intellectuelle (cf. annexe III).

En 2022, le chiffre d'affaires total des sociétés de semi-conducteurs au Royaume-Uni est de 11,6 Md€, soit 2 % environ du marché mondial<sup>111</sup>. Le quart est réalisé par la société ARM, désormais cotée à New-York et filiale de l'entreprise japonaise Softbank depuis 2016<sup>112</sup>. 85 % du chiffre d'affaires des entreprises britanniques provient de la conception de circuits et seuls 15 % de la production industrielle de plaquettes. Les exportations sont de 3,3 Md€ en moyenne annuelle de 2017 à 2023 et les importations de 3,5 Md€. Le secteur emploie 15 000 personnes en 2022, dont 5000 dans les activités de production industrielle.

**Bien que spécialisé dans la conception, le Royaume-Uni conserve quelques capacités de production domestique.** La principale fonderie silicium est celle de l'entreprise Newport Wafer Fab au Pays de Galles, créée en 1982. Elle produit actuellement 35 000 plaquettes de 200 mm par mois (à titre de comparaison, le site de Crolles est censé porter sa production à environ 50 000 plaquettes 300 mm par mois à horizon 2028), couvrant une large gamme de technologies de semi-conducteurs allant des MOSFET et IGBT aux semi-conducteurs CMOS, analogiques et composites. En difficulté financière depuis de nombreuses années, Newport Wafer Fab a été reprise en 2023 par la société américaine Vishay, qui doit investir fortement pour renouveler les installations vieillissantes. La seconde fonderie britannique est l'entreprise IQE située dans le même cluster technologique du Pays de Galles, spécialisée dans les semi-conducteurs composites et notamment dans la fabrication de substrats III-V. Les autres fonderies silicium sont moins significatives et accusent un retard technologique important.

---

<sup>108</sup> S. Goodman, D. Kim, J. Verwey, (octobre 2019) : « The South Korea-Japan trade dispute in context: semiconductor manufacturing, chemicals, and concentrated supply chains », *office of industries*, working paper ID-062.

<sup>110</sup> *National semiconductor strategy*, Policy Paper du département pour la science, l'innovation et la technologie, 19 mai 2023, [site](#) du gouvernement britannique, consulté le 19 décembre 2024.

<sup>111</sup> *Semiconductor sector study*, Note du département pour la science, l'innovation et la technologie, 26 septembre 2024, [site](#) du gouvernement britannique, consulté le 19 décembre 2024.

<sup>112</sup> Son rachat par l'américain Nvidia en 2020 a été avorté du fait de risque de position dominante.

**Le soutien par le gouvernement britannique de son industrie de semi-conducteur était historiquement limité à la recherche publique et l'accompagnement y compris financier des PME.** Au cours des dix dernières années, l'agence d'innovation « *Innovate UK* » a ainsi attribué 214 M€ de subventions aux PME du seul secteur des semi-conducteurs<sup>113</sup>. Jusqu'au Brexit, les entreprises britanniques ont également participé aux programmes européens de recherche. Dans le premier PIIEC-ME, le gouvernement britannique a ainsi soutenu ses chefs de file Newport Wafer Fab, IQE et SPTS technologies<sup>114</sup> à hauteur de 43 M€.

Suite aux tensions sur le marché des semi-conducteurs en 2021 et dans la lignée des plans américains, chinois et européens, le gouvernement du Royaume-Uni a développé en 2023 une stratégie domestique articulée autour de trois objectifs, dont le **financement global est estimé à 200 M€ sur la période 2023-2025 et 1 Md€ sur 10 ans** :

- ◆ **accélérer la croissance des technologies domestiques en s'appuyant sur les domaines de spécialité britannique** :
  - soutien de la R&D : le Royaume-Uni dispose de plusieurs dispositifs de soutien fiscal à la R&D, qui ne sont néanmoins pas spécifiques à la filière des semiconducteurs : le « *R&D Expenditure Credit* » vise les entreprises de plus de 500 salariés (crédit d'impôt à hauteur de 20 % des dépenses de R&D<sup>115</sup>) ; les « *SME tax credit* » dédiées aux petites et moyennes entreprises, jusqu'à 500 salariés (crédit d'impôt à hauteur de 230 % des dépenses de R&D). Dans les deux cas, les entreprises déficitaires peuvent percevoir une partie de ce crédit d'impôt sous forme de remboursement par le Trésor britannique<sup>116</sup> ;
  - développement d'infrastructures ouvertes pour permettre l'émergence de jeunes pousses : dans le cadre de son initiative pour les infrastructures de semi-conducteurs, le Royaume-Uni développe une stratégie visant à **mettre à disposition des logiciels de conception assisté et des solutions de fonderies ouverte (dont semi-conducteurs composites) pour les jeunes entreprises**. En effet, ces postes hautement capitalistiques sont identifiés comme étant des freins au développement de start up ;
  - création d'un groupe de travail sur les semi-conducteurs : co-présidé par le ministre de la science, de la recherche et de l'innovation et le Dr Jalal Bagherli, il comprend neuf autres membres représentant divers secteurs de l'industrie, de la technologie, du capital-risque, et de la recherche. Ce groupe a un rôle de médiation entre les acteurs industriels et la sphère politique, et de conseil du gouvernement sur une dizaine de problématiques identifiées<sup>117</sup> ;
- ◆ **atténuer le risque de perturbations sur la chaîne d'approvisionnement** : renforcer la résilience des secteurs critiques dépendants des semi-conducteurs grâce à des actions nationales et internationales, en maximisant l'influence du Royaume-Uni sur le marché mondial :
  - engager les acteurs économiques dans une culture de la résilience : aider l'industrie domestique à mieux comprendre les risques auxquels elle est confrontée, *via* la publication d'un guide de la résilience dans le secteur des semi-conducteurs ;

---

<sup>113</sup> *National semiconductor strategy*, Policy Paper du département pour la science, l'innovation et la technologie, 19 mai 2023, [site](#) du gouvernement britannique, consulté le 19 décembre 2024.

<sup>114</sup> Entreprise qui fabrique des équipements de gravure et de dépôts utilisés dans la fabrication.

<sup>115</sup> Le RDEC est considéré comme un « revenu imposable », soumis à l'impôt sur les sociétés. De ce fait, le crédit net est de l'ordre de 15 % des dépenses éligibles.

<sup>117</sup> *UK Semiconductor Advisory Panel: Terms of Reference*, Note du département pour la science, l'innovation et la technologie, 5 décembre 2024, [site](#) du gouvernement britannique, consulté le 19 décembre 2023.

## Annexe VI

- protéger les secteurs critiques : le gouvernement britannique mène un travail d'identification des besoins pour les infrastructures critiques, notamment dans le domaine de la défense. Tout en actant le retard sur le segment de la fonderie avancé, la stratégie britannique vise à assurer une part domestique destinée aux besoins stratégiques du pays. Sur les segments pour lesquels le Royaume-Uni accuse un retard trop important, le gouvernement privilégie une diversification des approvisionnements ;
- ◆ **protéger la sécurité nationale** : le gouvernement britannique s'appuie notamment sur le « *National security and investment act* » pour filtrer les prises de participations étrangères dans les entreprises sensibles, et sur le contrôle des exportations. Ces dispositifs visent à conserver des savoir-faire domestiques et à atténuer les risques de prolifération de technologies sensibles.

### 3. La typologie des dispositifs de soutien mis en place par les acteurs sont comparables mais des différences de moyens sont observées

Tous les acteurs affichant des ambitions dans la conception et la production de semi-conducteurs ont développé des plans de soutien à la filière électronique (cf. tableau 5). La typologie et le niveau du soutien public dépendent de deux principaux facteurs : **l'ambition et les ressources du pays ; leur niveau technologique actuel** :

- ◆ **niveau technologique** : les pays en phase de rattrapage technologique (USA sur la partie fonderie, Chine, Europe, Japon) ont mis en place un soutien financier à deux niveaux : subventions et crédits d'impôt pour la recherche et le développement d'une part, subventions et crédits d'impôt pour l'installation de nouvelles capacités de production d'autre part. En général (USA, Chine, Japon), ces aides directes sont complétées par des mesures plus ou moins temporaires de protection du marché intérieur (tarification douanière, préférence nationale, contrôle export). À l'inverse, les pays les plus en avance (Corée, Taiwan) privilégient des dispositifs de soutien fiscal à la recherche et développement pour préserver leur avance technologique. Ils s'attachent également à préserver un climat favorable (normatif, fiscal) au développement industriel<sup>118</sup> ;
- ◆ **moyens et ambitions** : les États-Unis et la Chine sont les deux seuls acteurs à viser l'indépendance sur l'ensemble de la chaîne de valeur (design, fonderie, packaging). Pour cela, ils financent la filière à très haut niveau *via* d'importants soutiens public (de l'ordre de 75Md\$ aux États-Unis d'ici 2030, de l'ordre de 100 Md\$ pour la Chine *via* les *big funds*). Ils sont également les seuls à disposer d'un marché aval complet, leur permettant d'écouler localement la production de composants électroniques. **L'Europe et le Japon ont développé des stratégies moins ambitieuses, visant essentiellement à regagner des parts de marché dans leurs secteurs de spécialité.** Plutôt qu'une souveraineté globale sur la chaîne de valeur, l'Europe a ciblé les composants matures et analogiques (correspondant aux besoins de son industrie aval) et le Japon fait le pari de la fonderie haute performance. Le niveau des aides publiques est un ordre de grandeur en dessous de ce qui est observé en Chine et aux États-Unis (entre 20 Md\$ et 30 Md\$).

---

<sup>118</sup> Direct grants are for countries that have to start from scratch in building manufacturing facilities. Instead, we are offering a high rate for tax incentives and expanding its coverage to relieve the liquidity crunch (J. Eun-Soo, (23 mai 2024) : « Gov't leaves out direct grants in its \$19B support program for chip industry », [Korea JoongAng Daily](#), consulté le 30 octobre 2024)

## Annexe VI

Certains acteurs se distinguent dans leur stratégie de soutien à la filière. **La Chine est ainsi le pays qui a développé le plan de soutien le plus complet**<sup>119</sup> : subventions, crédits d'impôts, marché de capitaux, formation, attractivité des talents étrangers, mise à disposition du foncier. Par ailleurs, sa politique de soutien de la filière est la plus ancienne<sup>120</sup>. Lancée en 2015, elle précède de six ou sept ans les mesures mises en place par ses concurrents.

De son côté, l'Europe est le seul acteur en phase de rattrapage technologique à ne pas utiliser l'outil fiscal pour favoriser son tissu industriel. La Chine et le Japon ont de leur côté mis en place des crédits d'impôts permettant de baisser les coûts d'exploitation, tandis que les Etats-Unis ont mis en place de déductions fiscales (en complément des subventions) pour financer les coûts d'investissement. Hors dispositifs défensifs de droit commun (mesures anti-dumping), l'Europe se distingue par ailleurs par l'absence de politique commerciale spécifique, quand ses concurrents ont opté pour des stratégies offensives *via* la mise en place de mesures ciblées de contrôle export, de tarifications douanières ou de préférence à l'achat de composants domestiques.

---

<sup>119</sup> Et ce même si le fonctionnement des *big funds* reste opaque.

<sup>120</sup> Les plans Nano sont certes plus anciens mais ne sauraient être comparés en termes d'objectifs et de dispositifs au plan « Made In China 2025 ».

## Annexe VI

**Tableau 5 : Comparaison des dispositifs de soutien mis en œuvre par les principaux acteurs disposant de capacités de production**

	États Unis <sup>121</sup>	Chine	Europe <sup>122</sup>	Japon <sup>123</sup>	Corée <sup>124</sup>	Taiwan <sup>125</sup>
Objectifs	Souveraineté sur la chaîne de valeur des semi-conducteurs	Fournir 70 % des besoins domestiques d'ici 2025	Atteindre 20 % de parts de marchés au niveau mondial	Triplement du chiffre d'affaires d'ici 2030 (objectif 100 Md\$) ; atteindre le niveau 2nm d'ici 2027	Rester leader sur la production de mémoires ; devenir leader sur le marché des puces logiques	Rester leader dans le domaine de la fonderie, atteindre le niveau 1nm d'ici 2030
<b>Ecosystème</b>						
Existence de centres de recherche performants	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Silicon Valley (Stanford, Berkeley, Intel Labs)</li> <li>▪ MIT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chinese Academy of Sciences</li> <li>▪ Tsinghua University</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CEA LETI (France)</li> <li>▪ IMEC (Belgique)</li> <li>▪ Fraunhofer Institute (Allemagne)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Advanced Industrial Science and Technology (AIST, Tsukuba)</li> <li>▪ Université de Tokyo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Korea Advanced Institute of Science and Technology (Daejong)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ITRI</li> </ul>
Dynamisme des marchés de capitaux	Fort	Fort	Non disponible (N.D.)	N.D.	N.D.	ITIC (intégré à l'ITRI)
Ecosystème industriel aval	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Téléphonie</li> <li>▪ Ordinateurs</li> <li>▪ IA</li> <li>▪ Automobile</li> <li>▪ Aéronautique</li> <li>▪ Défense</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Téléphonie</li> <li>▪ Ordinateurs</li> <li>▪ IA</li> <li>▪ Automobile</li> <li>▪ Aéronautique</li> <li>▪ Défense</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automobile</li> <li>▪ Aéronautique</li> <li>▪ Défense</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Automobile</li> <li>▪ Electronique grand public</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Téléphonie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas d'écosystème aval significatif</li> </ul>

<sup>122</sup> Surtaxe sur les véhicules électriques chinois notamment (30 octobre 2024 : « Droits de douane : l'UE adopte la surtaxe sur les voitures électriques chinoises », *La Tribune* )

(30 avril 2024) : « Présentation du régime de crédit d'impôt R&D au Japon », *Stripe*, consulté le 10 décembre 2024 ; (16 décembre 2023) : « Japan to impose 10-year tax breaks to boost EV and chip manufacturing », *EVAZZ*, consulté le 30 octobre 2024

J. Eun-Soo, (23 mai 2024) : « Gov't leaves out direct grants in its \$19B support program for chip industry », *Korea JoongAng Daily*, consulté le 30 octobre 2024.

<sup>125</sup> L. Wang, (2 mai 2023) : « Taiwan 'Chips act' sets R&D spending at NT\$6 billion », *Taipei Times*, consulté le 30 octobre 2024.

## Annexe VI

	États Unis <sup>121</sup>	Chine	Europe <sup>122</sup>	Japon <sup>123</sup>	Corée <sup>124</sup>	Taiwan <sup>125</sup>
Soutien Public						
Définition d'une stratégie globale	Chips Act (2022)	Plan « Made In China 2025 » (2015)	Chips Act européen (2022)	Strategy for semiconductors and the digital industry (2021)	K-Semiconductor Strategy	Act for Industrial Innovation
Soutien direct (subventions)	<p>Soutien total : 50 Md\$, dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R&amp;D et première industrialisation : 11 Md\$ entre 2022 et 2026 ;</li> <li>▪ production : 39 Md\$ annoncées dont 28 Md\$ déjà fléchées</li> </ul>	« Big fund », soutien total de 96 Md\$ <sup>126</sup>	<p>Soutien total : 30 Md\$ fléchés, dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R&amp;D et première industrialisation : 10 Md€ entre 2018 et 2026 (IPCEI I et II) ;</li> <li>▪ production : 20,5 Md€ de subventions fléchées dont 11,6 Md€ suspendues (projets Intel)</li> </ul>	<p>24 Md\$ de subventions fléchées<sup>a</sup> depuis 2021 ; investissements sous forme de capitaux propres et de dettes subordonnées (Bank of Japan)</p>	Programme de prêts à hauteur de 14 Md\$ (banque coréenne de développement)	9 Md\$ entre 2024 et 2033 (design de puces IA)
Soutien fiscal, crédit d'impôt	Crédit d'impôt sur les investissements dans de nouvelles capacités de production (25% de l'investissement, coût estimé de 24,3 Md\$ entre 2022 et 2030)	Exemption d'impôt sur les sociétés pour les entreprises produisant des semi-conducteurs avancés (<28nm) pendant 15 ans ; entre 2 et 5 ans pour les autres ; abattement de TVA (15%, sous conditions).	Crédit impôt recherche (France, 0.1 Md€/an pour la filière, 30 % d'abattement jusqu'à 100 M€)	Crédit d'impôt sur les investissements en R&D (20 % à 30 % d'abattement) ; crédit sur l'impôt sur les sociétés (20 % pour les fabricants de semi-conducteurs).	Crédit d'impôt pour les investissements stratégiques (15 % pour les GE, jusqu'à 25 % pour les PME)	Crédit d'impôt à hauteur de 25 % pour les investissements en R&D (2 Md\$/an) ; 5 % pour les équipements avancés.

<sup>126</sup> Fonds souverain qui semble prendre des participations mais également attribuer des subventions.

## Annexe VI

	États Unis <sup>121</sup>	Chine	Europe <sup>122</sup>	Japon <sup>123</sup>	Corée <sup>124</sup>	Taiwan <sup>125</sup>
Soutien public du marché des capitaux	N.D.	Big fund I, II et III (96 Md\$) <sup>127</sup>	N.D.	N.D.	Fond de 800M\$	Fonds de capital risque ITIC adossé à l'ITRI
Politique commerciale et protectionnisme	Politique de contrôle export à destination de la Chine (portée extraterritoriale) ; politique de contrôle des investissements (portée extraterritoriale)	Incitation à l'achat domestique	Mesures défensives (enquêtes anti-dumping ouvrant possibilité de droits compensateurs).	Mesures de contrôle export sur les équipements et technologies	N.D.	N.D.
Autres formes de soutien	N.D.	Mise en place de formations universitaires, travail sur l'attractivité des talents étrangers ; soutien par les gouvernements locaux, mise à disposition de foncier et d'infrastructures.	N.D.	N.D.	Mise à disposition de foncier, développement d'infrastructures	Développement d'infrastructures, guichet unique

*Source : Mission.*

---

<sup>127</sup> *Ibid*

## **ANNEXE VII**

# **Méthodologie du contrôle synthétique pour l'évaluation du programme Nano 2022**

# SOMMAIRE

<b>1. LA METHODE DU CONTROLE SYNTHETIQUE PERMET DE CONSTRUIRE UN CONTREFACTUEL POUR LES ENTREPRISES AIDEES PAR LE PROGRAMME NANO 2022 .....</b>	<b>1</b>
1.1. Le contrefactuel synthétique est une interpolation d'unités non traitées .....	1
1.1.1. <i>Le synthétique est obtenu à partir d'un double processus d'optimisation....</i>	<i>1</i>
1.1.2. <i>L'effet de l'intervention est comparé à des effets « placebos » .....</i>	<i>2</i>
1.2. La méthode du contrôle synthétique permet d'obtenir un contrefactuel facilement interprétable.....	3
1.3. Un groupe de contrôle est constitué pour chaque entreprise traitée à partir de données pré-intervention.....	3
1.3.1. <i>Douze unités légales sont considérées comme traitées par le programme Nano.....</i>	<i>3</i>
1.3.2. <i>L'utilisation combinée de la variable d'intérêt pré-intervention et de variables prédictives permet de minimiser les écarts avec le synthétique ...</i>	<i>4</i>
1.3.3. <i>Plusieurs conditions sur les données doivent être réunies pour permettre l'évaluation par contrôle synthétique.....</i>	<i>5</i>
<b>2. LES EFFETS OBTENUS SONT HETEROGENES : POUR DEUX ENTREPRISES LES EFFETS SONT OPPOSES TANDIS QUE POUR QUATRE AUTRES LES EFFETS NE SONT PAS SIGNIFICATIFS. ....</b>	<b>6</b>
2.1. La méthode du contrôle synthétique a pu être appliquée à six unités légales parmi les douze du programme Nano 2022.....	6
2.2. Les tests de robustesse réalisés permettent de renforcer les résultats .....	9
2.3. Limites et pistes d'améliorations.....	10

## 1. La méthode du contrôle synthétique permet de construire un contrefactuel pour les entreprises aidées par le programme Nano 2022

La mission a cherché à évaluer l'impact du programme Nano 2022 sur les entreprises subventionnées. Ce programme avait pour ambition d'aider la plupart des entreprises du secteur des semi-conducteurs. Par conséquent, on ne peut pas trouver, au sein de ce secteur, d'entreprises comparables aux entreprises traitées et qui n'auraient reçu aucune aide, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de contrefactuel naturel. **Pour quantifier le lien entre les subventions et les activités de recherche effectivement réalisées par les entreprises, il faut donc utiliser un contrefactuel plus éloigné.** Il s'agit d'une étude de cas comparative : son principe fondamental est qu'en comparant l'unité exposée au traitement et un groupe d'unités non traitées, il est possible de constater les effets de l'intervention. Ce principe est vérifié quand l'évolution de la variable d'intérêt est affectée par des facteurs communs dans les deux groupes. La méthode du contrôle synthétique permet de construire un contrefactuel à partir d'une combinaison linéaire d'unités de contrôle de la manière la plus objective possible, en se fondant sur l'exploitation des trajectoires pré-interventions. Cela permet d'éviter certaines hypothèses de similarités entre le groupe contrôle et l'unité traitée. Par exemple pour réaliser une différence de différences, il faut que l'hypothèse des trajectoires parallèles soit vérifiée.

Les méthodes de contrôle synthétique sont souvent utilisées sur de grands agrégats, au niveau d'une région ou d'un pays, pour qui les tendances sont en général assez stables, avec des données peu volatiles. Ainsi, une des études fondatrices du contrôle synthétique mesure l'impact d'un programme de limitation de la consommation de tabac implémenté par la Californie en 1988 (« Program 99 »), en comparant la Californie à une combinaison synthétique d'États américains n'ayant pas mis en place ce type de réglementation<sup>1</sup>.

### 1.1. Le contrefactuel synthétique est une interpolation d'unités non traitées

#### 1.1.1. Le synthétique est obtenu à partir d'un double processus d'optimisation

On considère avoir des données pour  $J+1$  unités  $j = 1, 2, \dots, J+1$ , avec comme première unité ( $j = 1$ ) l'entreprise traitée. Le reste des unités est l'ensemble des « donneurs », et constitue le groupe de contrôle.

L'effet de l'intervention est noté :

$$\tau_{1t} = Y_{1t}^I - Y_{1t}^N$$

Un contrôle synthétique est défini comme une moyenne pondérée des unités de l'ensemble des donneurs, qu'on peut représenter comme un vecteur de poids de taille  $J$ ,  $\mathbf{W} = (w_2, \dots, w_{J+1})$ . Étant donnée un vecteur de poids  $\mathbf{W}$ , les estimateurs de contrôle synthétiques de  $Y_{1t}^N$  et  $\tau_{1t}$  respectivement sont :

$$\hat{Y}_{1t}^N = \sum_{j=2}^{j=J+1} w_j Y_{jt}$$

$$\hat{\tau}_{1t} = Y_{1t}^I - \hat{Y}_{1t}^N$$

<sup>1</sup> Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. *Journal of the American statistical Association*

## Annexe VII

Les poids sont positifs ou nuls avec la somme égales à 1 (donc tous compris entre 0 et 1), ce qui aboutit à des matrices de poids parcimonieux, et qui empêche l'extrapolation. Ainsi, on ne peut pas utiliser dans le synthétique de valeurs qui correspondrait à des entreprises « négatives », qui n'auraient pas de sens physique.

Pour choisir ces poids  $\mathbf{W}$ , il faut que le contrôle synthétique ressemble aux valeurs pré-traitement de l'unité traitée pour les variables prédisant bien la variable d'intérêt. Avec  $k$  prédicteurs, et un jeu de constantes positives  $v_1, \dots, v_k$ , on choisit le contrôle synthétique  $\mathbf{W}^*$  qui minimise

$$\| \mathbf{X}_1 - \mathbf{X}_0 \mathbf{W} \| = \sqrt{\left( \sum_{h=1}^k v_h (X_{h1} - w_2 X_{h2} - \dots - w_{J+1} X_{hJ+1})^2 \right)}$$

Les constantes positives  $v_1, \dots, v_k$  reflètent l'importance relative des différences prédicteurs de la variable d'intérêt. Chaque choix de d'ensemble  $\mathbf{V} = (v_1, \dots, v_k)$  donne un estimateur différent.

Une des manières de choisir  $\mathbf{V}$  peut être de prendre l'inverse de la variance de  $X_{h1}, \dots, X_{hJ+1}$  pour obtenir des variances unitaires. Une manière moins arbitraire est d'utiliser le contrôle synthétique  $\mathbf{W}(\mathbf{V})$  qui minimise l'erreur quadratique moyenne de prédiction (MSPE) par rapport à  $Y_{1t}^N$

$$\sum_{t \in \tau_0} (Y_{1t} - w_2(\mathbf{V})Y_{2t} - \dots - w_{J+1}(\mathbf{V})Y_{J+1t})^2$$

pour un ensemble  $\tau_0 \subset \{1, 2, \dots, T_0\}$  de périodes pré-intervention. C'est la solution retenue par Abadie et al. (2010), qui conduit à résoudre un problème d'optimisation imbriqué.

In fine, le biais sera d'autant plus faible que les trajectoires pré-intervention de l'unité traitée et de l'unité synthétique se ressembleront. Cet écart est défini comme la racine de l'erreur quadratique moyenne de prédiction (RMSPE).

### 1.1.2. L'effet de l'intervention est comparé à des effets « placebos »

Une fois le synthétique créé, l'effet de l'intervention peut être objectivé à l'aide d'un test de permutation. Une distribution est obtenue en construisant successivement un synthétique pour chaque unité du groupe de contrôle, afin d'obtenir un effet « placebo ». Si le véritable effet n'est pas discernable des effets placebos, alors il n'est pas significatif. Pour cela, on n'utilise pas directement la taille de l'effet post-intervention, mais plutôt le ratio entre l'écart post-intervention et l'écart pré-intervention, noté  $r_j$  pour l'unité  $j$ . Cela permet de neutraliser la qualité variable du synthétique pour les placebos. Dans ce cas, une  $p$ -valeur pour l'inférence fondée sur la distribution des ratios  $r_j$  est donnée par :

$$p = \frac{1}{J+1} \sum_{j=1}^{J+1} I_+(r_j - r_1)$$

avec  $I_+$  une indicatrice qui retourne 1 pour les arguments strictement positifs et 0 pour les autres.

## 1.2. La méthode du contrôle synthétique permet d'obtenir un contrefactuel facilement interprétable

Quand les conditions requises sont réunies, les avantages du contrôle synthétique sont nombreux<sup>2</sup> :

- ◆ le synthétique est créé à partir d'entreprises réelles, sans extrapolation ;
- ◆ l'adéquation entre l'unité traitée et le contrôle synthétique peut être contrôlée facilement puisqu'on dispose des valeurs de la variable d'intérêt et des variables prédictives pour toute la période pré-intervention à la fois pour l'unité traitée et le synthétique ;
- ◆ des garde-fous existent contre la sur-sélection des variables (toutes les décisions peuvent être prises sans avoir connaissance des valeurs de la variable d'intérêt post-traitement) ;
- ◆ le contrefactuel est choisi de manière transparente, il est possible de justifier le choix de cette unité de contrôle par les données et le calcul de l'incertitude associée ;
- ◆ les poids associés au synthétique sont parcimonieux, c'est-à-dire que la plupart sont égaux à zéro. Le synthétique n'utilise pas toutes les unités du groupe de contrôle, mais seulement les plus pertinentes.

Ainsi le contrefactuel construit est interprétable, et tous les choix qui y mènent peuvent être justifiés et analysés a posteriori.

## 1.3. Un groupe de contrôle est constitué pour chaque entreprise traitée à partir de données pré-intervention

Le processus de contrôle synthétique est effectué de manière indépendante pour les douze unités traitées. Ainsi pour chaque entreprise on constitue un groupe de contrôle, puis un synthétique. Les résultats sont ensuite présentés en anonymisant les entreprises, et sans données individuelles.

### 1.3.1. Douze unités légales sont considérées comme traitées par le programme Nano

Les unités considérées comme traitées par le programme Nano 2022 sont les entreprises chefs de file. On considère indépendamment les douze unités légales, car il n'est pas possible d'obtenir des données longitudinales au niveau groupe d'entreprise depuis 2010 :

- ◆ Soitec (384 711 909) ;
- ◆ Murata (512 603 861) ;
- ◆ LYNRED (334 835 709), qui résulte d'une fusion en 2019 entre Sofradir (334 835 709) et Ulis (440 508 331). Avant cette date, on utilise les données fusionnées des deux entreprises ;
- ◆ UMS (383 144 102) ;
- ◆ X-Fab (822 947 636), pour laquelle on utilise avant 2016 les données d'Altis Semiconductor (423 959 287), qui a fait l'objet d'un plan de cession à X-Fab ;
- ◆ STMicroelectronics France (341 459 386) ;
- ◆ STMicroelectronics (Alps) SAS (504 940 925) ;
- ◆ STMicroelectronics (Crolles 2) SAS (399 395 581) ;

---

<sup>2</sup> Abadie, A. (2021). Using synthetic controls: Feasibility, data requirements, and methodological aspects. *Journal of economic literature*

## Annexe VII

- ◆ STMicroelectronics (Grand Ouest) SAS (409 768 520) ;
- ◆ STMicroelectronics (Grenoble 2) SAS (504 941 337) ;
- ◆ STMicroelectronics (Rousset) SAS (414 969 584) ;
- ◆ STMicroelectronics (Tours) SAS (380 932 590).

Le groupe de contrôle doit être plutôt restreint, avec des unités qui ressemblent déjà aux unités traitées. Dans un premier temps, on sélectionne les groupes de contrôle par leur code d'activité. Pour les unités traitées dont le code activité est celui de fabricants de composants électroniques (26.11Z), les entreprises du groupe de contrôle sont celles de l'industrie manufacturière dans son ensemble (code NAF 10 à 33). Pour les entreprises de recherche et développement (72.19Z), ce sont uniquement celles de ce code NAF qui sont conservées. Les autres entreprises traitées par le programme Nano sont retirées du groupe de contrôle.

De plus, trois variables sont utilisées pour obtenir des groupes de contrôle suffisamment proches des unités traitées. Pour chaque unité contrôle les valeurs moyennes du chiffre d'affaires, du nombre d'employés et du nombre d'employés en recherche sont compris dans un intervalle de plus ou moins 50 % autour des valeurs de l'unité traitée. Cela permet d'obtenir des groupes de contrôle contenant entre 10 et 64 unités non-traitées (tableau 1).

**Tableau 1 : Taille du groupe de contrôle**

Raison légale	Nombre d'entreprises dans le groupe de contrôle
Soitec	64
Murata	27
LYNRED	27
UMS	50
X-Fab	12
STMicroelectronics France	12
STMicroelectronics (Alps) SAS	10
STMicroelectronics (Crolles 2) SAS	22
STMicroelectronics (Grand Ouest) SAS	12
STMicroelectronics (Grenoble 2) SAS	16
STMicroelectronics (Rousset) SAS	19
STMicroelectronics (Tours) SAS	26

Source : FARE, DADS, calculs : Pôle sciences des données

La date de l'intervention est fixée à 2020. La période pré-intervention pour construire le synthétique court ici de 2010 à 2019.

### 1.3.2. L'utilisation combinée de la variable d'intérêt pré-intervention et de variables prédictives permet de minimiser les écarts avec le synthétique

La variable d'intérêt choisie est celle de la dépense en personnel de recherche. Elle permet d'approcher les dépenses en recherche et développement. Les personnels en recherche et développement sont caractérisés par leur PCS<sup>3</sup> directement :

- ◆ 383A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en électricité, électronique ;
- ◆ 384A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en mécanique et travail des métaux ;

---

<sup>3</sup> Nomenclature PCS-ESE 2017

## Annexe VII

- ◆ 385A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement des industries de transformation (agroalimentaire, chimie, métallurgie, matériaux lourds) ;
- ◆ 386B : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement de la distribution d'énergie, eau ;
- ◆ 388A : Ingénieurs et cadres d'étude, recherche et développement en informatique.

Deux types de variables sont utilisés pour créer le synthétique des unités traitées. D'une part des variables prédictives de la variable d'intérêt sont utilisées, avec leur moyenne sur la période pré-intervention. Ce sont principalement des variables économiques : chiffre d'affaires issu de la base FARE, valeur totale de la production issue de la base d'Enquête Annuelle de Production, valeur totale des importations issues des données de commerce international DOU-ENQ de la DGDDI, nombre d'employés issu des Déclarations annuelles de données sociales (DADS) pour le secteur privé.

D'autre part, les valeurs pré-interventions de la variable d'intérêt permettent de prendre en compte les variables inobservées. Si la variable d'intérêt a une trajectoire similaire pour les unités traitées et de contrôle, il est possible d'utiliser uniquement la moyenne sur la période pré-intervention. C'est le cas pour des données très agrégées, par exemple au niveau de pays. Ici la variable d'intérêt est plus volatile, on utilise sa valeur au début, au milieu et à la fin de la période pré-intervention (2010, 2014 et 2019), à l'exception de l'entreprise C pour laquelle des données ponctuelles supplémentaires sont utilisées (2012, 2016 et 2017), tout en vérifiant que les variables prédictives conservent un poids dans la constitution du synthétique. En utilisant seulement quelques valeurs ponctuelles pour la variable d'intérêt, et non pas toutes les variables, le biais est réduit, le jeu de coefficients obtenu est plus parcimonieux, et les poids des variables prédictives sont non nuls, ce qui n'est pas le cas quand toutes les variables d'intérêt pré-intervention sont présentes<sup>4</sup>. Cela permet aussi d'éviter le sur-apprentissage, c'est-à-dire une situation où le modèle s'adapte trop précisément aux données pré-interventions sur la base de la seule variable d'intérêt, et ne permet pas de dégager les tendances utiles pour caractériser la suite de l'évolution.

### 1.3.3. Plusieurs conditions sur les données doivent être réunies pour permettre l'évaluation par contrôle synthétique.

Tout d'abord, il est nécessaire de pouvoir constituer un groupe de contrôle sur lequel aucune intervention n'a été effectuée. Parmi les interventions comparables, le PIIEC Batteries, validé le 9 décembre 2019, prévoit une aide publique entre 500 M€ et 1Md€ à l'entreprise Automotive Cells Company (ACC), et entre 100 et 200 M€ à l'entreprise Solvay. Les autres PIIEC ont été validés plus tardivement, à partir de 2021. On considère donc qu'ils n'auront pas d'influence sur les résultats, la période post-intervention dont on dispose étant de 2020 à 2022. Le plan de soutien à l'aéronautique (dit plan Aero) a débuté mi-2020 et est doté de 600 M€ jusqu'en 2023, notamment à destination d'Airbus. Ces trois entreprises sont donc exclues du groupe de contrôle. Dans l'idéal, il faudrait également exclure les unités de contrôle ayant subi des chocs individuels de grande ampleur. Cependant, étant donné la nature granulaire des données et la diversité des secteurs considérés, il est difficile de faire la distinction entre des variations sectorielles conjoncturelles et des chocs individuels pour la totalité des entreprises de l'industrie manufacturière. Aucune entreprise n'est donc exclue sur cette base.

---

<sup>4</sup> Kaul, A., Klößner, S., Pfeifer, G., & Schieler, M. (2022). Standard synthetic control methods: The case of using all preintervention outcomes together with covariates. *Journal of Business & Economic Statistics*

Le groupe de contrôle doit également être proche des entreprises traitées. Plus exactement, les entreprises traitées doivent être chacune dans l'enveloppe convexe de leur groupe de contrôle : le contrôle synthétique repose sur un mécanisme d'interpolation, qui garantit une certaine vraisemblance du synthétique créé. Cette condition est satisfaite pour les douze unités légales traitées.

L'intervention ne doit pas être anticipée par les entreprises traitées, dans le cas contraire il est possible d'antédater l'intervention dans l'évaluation. L'horizon de temps post-intervention doit également être suffisant pour pouvoir observer de potentiels effets. Dans le cas de Nano 2022 la période post-intervention est assez courte car les données ne sont pas encore disponibles pour 2023, les effets visibles sont donc seulement les effets à court terme.

Enfin il ne faut pas qu'il y ait d'interférences entre les unités traitées et le groupe de contrôle. Étant donné qu'une majorité du secteur des semi-conducteurs a été aidé avec le programme Nano, et que leurs entreprises partenaires sont souvent de tailles assez différentes (et donc non présentes dans les groupes de contrôle), cette hypothèse d'absence d'interférence est considérée comme satisfaite.

## **2. Les effets obtenus sont hétérogènes : pour deux entreprises les effets sont opposés tandis que pour quatre autres les effets ne sont pas significatifs.**

L'évaluation et les tests de robustesse sont effectués en R avec le package *Synth*<sup>5</sup>. La composition des contrefactuels et les trajectoires exactes ne peut pas être détaillée ici pour des raisons de secret statistiques, mais ces données ont été utilisées pour évaluer la pertinence de la méthode.

### **2.1. La méthode du contrôle synthétique a pu être appliquée à six unités légales parmi les douze du programme Nano 2022**

Parmi les douze entreprises du programme Nano 2022, six ont pu être approchées par un synthétique acceptable, c'est-à-dire pour lequel la RMSPE est suffisamment faible. Pour évaluer la pertinence du synthétique, plusieurs méthodes sont combinées : une appréciation visuelle de la cohérence des deux trajectoires de l'entreprise traitée et de son synthétique (non reproduite ici pour la protection du secret statistique), des tests de robustesse par rapport au groupe de contrôle et aux variables prédictives (cf. 2.2), et un seuil fixé à moins de 10 % pour la RMSPE normalisée par rapport à la variable d'intérêt. Les coefficients des variables retenus pour la constitution du synthétique donnent une indication du pouvoir prédictif de chacun (tableau 2).

Pour les six autres entreprises, il n'a pas été possible de trouver un bon synthétique, même en utilisant toutes les valeurs de la variable d'intérêt pré-intervention, et même en relaxant les critères sur le groupe de contrôle. Il reste dans le meilleur des cas plus de 40 % d'écart (RMSPE normalisée) entre le synthétique et l'unité traitée. Les raisons peuvent être multiples, il peut notamment s'agir d'entreprises trop particulières pour être approchées par interpolation. Ces six entreprises (STMicroelectronics France, STMicroelectronics (Alps) SAS, STMicroelectronics (Grand Ouest) SAS, STMicroelectronics (Grenoble 2) SAS, STMicroelectronics (Rousset), X-Fab) sont donc exclues de l'analyse.

---

<sup>5</sup> Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2011). Synth: An R package for synthetic control methods in comparative case studies. *Journal of Statistical Software*

## Annexe VII

**Tableau 2 : Coefficients pour l'optimisation du synthétique**

Variables/Entreprises	A	B	C	D	E	F
NRMSPE	0,099	0,028	0,056	0,061	0,064	0,077
Chiffre d'affaires	0,042	0,007	0,121	0,164	0,003	0,149
Nombre d'ETP	0,023	0	0,146	0,047	0	0,004
Nombre d'ETP en R&D	0,111	0,02	0,125	0,114	0,018	0,021
Total des importations	0,001	0	0,086	0,012	0,088	0,027
Total de la production	0,006	0,57	0	0,083	0,048	0,003
CIR déclaré	0,118	0,026	0,059	0	0,005	0
Sommes des salaires bruts de R&D en 2010	0,342	0,006	0,018	0,119	0,159	0,101
Sommes des salaires bruts de R&D en 2012	-	-	0,031	-	-	-
Sommes des salaires bruts de R&D en 2014	0,095	0,289	0,101	0,196	0,408	0
Sommes des salaires bruts de R&D en 2016	-	-	0,163	-	-	-
Sommes des salaires bruts de R&D en 2017	-	-	0,107	-	-	-
Sommes des salaires bruts de R&D en 2019	0,262	0,083	0,043	0,167	0,271	0,695

*Source : FARE, DADS, EAP, DOU-ENQ DGDDI, GECIR 2010-2022, calculs : Pôle sciences des données*

L'effet de l'intervention est considéré comme significatif si l'effet obtenu est significativement différent des placebos. Cependant ce n'est pas parce que la trajectoire pré-intervention de l'unité traitée est fidèlement modélisée que ce sera le cas pour toutes les unités placebo. Seuls les placebos pour lesquels la différence avec le synthétique pré-intervention est inférieure à cinq fois la différence entre l'entreprise traitée et le synthétique pré-intervention sont donc conservés (graphique 1). Le seuil de significativité est fixé à 10 %.

Les calculs d'effets placebo pour les entreprises A, C, E, F (graphiques 1a, 1c, 1e, 1f) montrent un effet sur l'entreprise traitée qui n'est pas discernable des effets placebos : la courbe noire (entreprise traitée) se situe au milieu de la distribution des courbes grises (entreprises placebos). Pour l'entreprise B (graphique 1b) l'écart est beaucoup plus important pour l'entreprise traitée, et ce dès 2020, avec une stabilisation par la suite. Dans le cas de l'entreprise D (graphique 1d), l'effet est dans un premier temps positif en 2020, avant de devenir fortement négatif en 2021 et 2022, par un effet de substitution portant sur les ingénieurs de R&D, l'effectif total d'ingénieurs restant stable.

**Tableau 3 : Résultats du contrôle synthétique**

Entreprise	Significativité par rapport aux placebos	p-valeur	Test de robustesse vis-à-vis du groupe de contrôle	Test de robustesse vis-à-vis des variables prédictives
A	Non significatif	0,37	Stable	Stable
B	Positif significatif	0,07	Stable	Stable
C	Non significatif	0,5	Stable	Stable
D	Négatif significatif	0,04	Stable	Stable
E	Non significatif	0,18	Stable	Stable
F	Non significatif	0,15	Stable	Stable

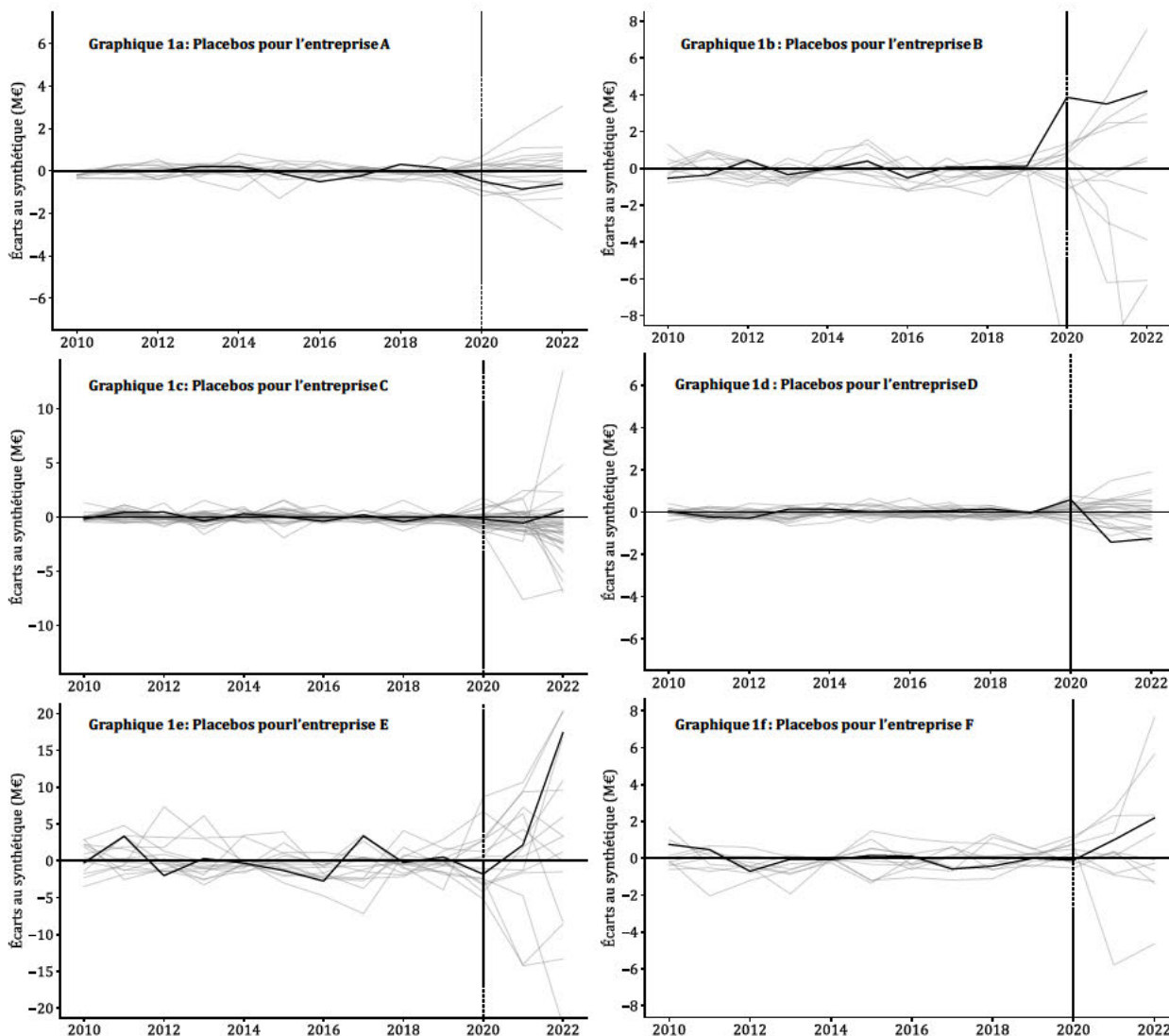
*Source : FARE, DADS, EAP, DOU-ENQ DGDDI, GECIR 2010-2022, calculs : Pôle sciences des données*

Six entreprises disposent donc d'un synthétique acceptable (tableau 3), dont une pour qui l'effet est positif et significatif, une pour qui l'effet est négatif et significatif, et quatre pour qui l'effet n'est pas significatif (l'hypothèse d'absence d'effet ne peut être rejetée). Les deux entreprises pour lesquels les effets sont significatifs sont des PME.

Pour l'entreprise B, la dépense en salaires bruts de personnel de recherche est environ 30 % plus importante en moyenne sur l'ensemble de la période post-intervention que celle qui aurait eu lieu en l'absence d'intervention. Pour l'entreprise D, l'écart est de -15 % en moyenne sur la période post-intervention<sup>6</sup>.

Les effets du programme Nano 2022 semblent donc assez hétérogènes et individuels.

**Graphique 1 : Effets placebos pour les six entreprises traitées**



*Source : FARE, DADS, EAP, DOU-ENQ DGDDI, GECIR 2010-2022, calculs : Pôle sciences des données.*

*Note de lecture : Pour chaque graphique, la ligne noire représente la trajectoire de l'entreprise traitée, et les lignes grises les placebos.*

<sup>6</sup> Cet écart est calculé comme la racine de l'erreur quadratique moyenne de prédiction sur la période post-intervention.

## 2.2. Les tests de robustesse réalisés permettent de renforcer les résultats

Deux facteurs choisis arbitrairement peuvent affecter le résultat. Il est possible de contrôler l'effet de ces choix par des tests de robustesse :

- ◆ choix du groupe de contrôle dans l'ensemble des entreprises existantes : la construction du synthétique est réitérée  $N$  fois pour  $N$  entreprises dans le groupe de contrôle, en retirant une à chaque fois pour construire un synthétique avec un groupe de contrôle de  $N - 1$  entreprises ;
- ◆ choix des variables prédisant la variable d'intérêt : la construction du synthétique est réitérée plusieurs fois en retirant ou ajoutant une variable prédictive à chaque fois pour construire un synthétique.

Les variations de la RMSPE normalisée au cours de ces tests permettent d'apprécier la qualité du synthétique. Si elle varie de façon importante, cela signifie que le résultat n'est pas très fiable, car dépendant fortement de quelques unités de contrôle ou de quelques variables prédictives. Pour les six entreprises conservées dans l'analyse, les variations sont faibles, les tests de robustesse sont donc concluants (tableau 4).

Un dernier test de robustesse est pratiqué en retirant du groupe de contrôle les entreprises de l'industrie pharmaceutique, qui ont potentiellement une trajectoire en 2020 assez différente du reste de l'industrie manufacturière avec l'impact de la pandémie de Covid-19. Pour quatre entreprises parmi les six aucune entreprise pharmaceutique n'est utilisée dans les groupes de contrôle. Pour les deux restantes (C et F), l'absence de ces entreprises ne change significativement ni l'adéquation entre le synthétique et l'unité traitée, ni la taille de l'effet (tableau 4).

**Tableau 4 : Résultats des tests de robustesse (moyenne et écart-type)**

Test de robustesse	Valeur test	A	B	C	D	E	F
Groupe de contrôle	NRMPSE	0,075	0,019	0,057	0,034	0,048	0,084
	E	(+/- 0,009)	(+/- 0,006)	(+/- 0,008)	(+/- 0,004)	(+/- 0,004)	(+/- 0,010)
	Ratio d'écart	1,88	2,35	0,85	3,49	22,77	2,86
		(+/- 0,39)	(+/- 1,05)	(+/- 0,35)	(+/- 0,23)	(+/- 0,78)	(+/- 0,43)
Variables prédictives	NRMPSE	0,105	0,025	0,057	0,054	0,053	0,131
	E	(+/- 0,013)	(+/- 0,004)	(+/- 0,007)	(+/- 0,007)	(+/- 0,009)	(+/- 0,023)
	Ratio d'écart	1,09	2,26	1,16	3,15	21,72	2,51
		(+/- 0,60)	(+/- 0,56)	(+/- 0,32)	(+/- 0,64)	(+/- 1,00)	(+/- 0,46)
Présence de l'industrie pharmaceutique	NRMPSE	/ <sup>7</sup>	/	0,056 (avec) 0,032 (sans)	/	/	0,071 (avec) 0,111 (sans)
	Ratio d'écart	/	/	1,47 (avec) 2,32 (sans)	/	/	3,22 (avec) 2,69 (sans)

Source : FARE, DADS, EAP, DOU-ENQ DGDDI, GECIR 2010-2022, calculs : Pôle sciences des données

Note de lecture : Le ratio d'écart est le ratio entre la RMPSE post-intervention et la RMPSE pré-intervention. La RMSPE normalisée est calculée comme la RMSPE divisée par l'écart entre la plus grande valeur et la plus petite valeur de l'intervalle.

<sup>7</sup> Aucune entreprise de l'industrie pharmaceutique (NAF 21.10Z ou 21.20Z) n'est utilisée pour le synthétique.

### 2.3. Limites et pistes d'améliorations

L'amplitude de la variable d'intérêt est faible, puisque qu'il y a en moyenne un peu plus de 300 employés en recherche (en 2019) dans les unités légales considérées. Une faible variation en effectif ou en niveau de rémunération peut provoquer une variation importante en proportion. De plus, l'analyse est effectuée à un niveau microéconomique, impliquant donc beaucoup de volatilité individuelle. Une autre façon d'évaluer le programme Nano aurait pu être d'effectuer l'analyse en contrôle synthétique au niveau du secteur tout entier (par exemple à partir du code d'activité NAF). Enfin, il serait intéressant d'utiliser d'autres variables d'intérêt, par exemple des variables économiques, pour évaluer l'impact du programme sur d'autres aspects.

## **ANNEXE VIII**

### **Liste des personnes rencontrées**

# SOMMAIRE

<b>1. CABINETS MINISTERIELS .....</b>	<b>1</b>
1.1. Cabinet du Président de la République.....	1
1.2. Cabinet du ministre délégué au ministre de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique, chargé de l'industrie et de l'énergie.....	1
1.3. Cabinet du ministre délégué auprès du ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, chargé de l'industrie.....	1
<b>2. ADMINISTRATIONS CENTRALES.....</b>	<b>1</b>
2.1. Services du Premier ministre.....	1
2.1.1. <i>Secrétariat général pour l'investissement</i> .....	1
2.2. Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique.....	1
2.2.1. <i>Direction générale des entreprises</i> .....	1
2.2.2. <i>Direction générale du Trésor</i> .....	2
2.2.3. <i>Direction du budget</i> .....	2
2.3. Ministère des armées .....	2
2.3.1. <i>Direction générale de l'armement</i> .....	2
2.4. Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche.....	2
2.4.1. <i>Direction générale de la recherche et de l'innovation</i> .....	2
<b>3. SERVICES DECONCENTRES.....</b>	<b>3</b>
3.1. Services régionaux d'Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) .....	3
3.1.1. <i>Direction régionale de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (DREETS)</i> .....	3
3.1.2. <i>Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)</i> .....	3
3.1.3. <i>Délégation régionale académique à la recherche à l'innovation (DRARI)</i> ...3	
3.2. Services départementaux de l'Isère .....	3
3.2.1. <i>Préfecture de l'Isère</i> .....	3
3.2.2. <i>Direction départementale de l'Isère</i> .....	3
<b>4. COLLECTIVITES TERRITORIALES.....</b>	<b>3</b>
4.1. Grenoble Alpes Métropole.....	3
4.2. Communauté de communes Le Grésivaudan .....	4
<b>5. INSTITUTIONS PUBLIQUES INTERNATIONALES.....</b>	<b>4</b>
5.1. Commission européenne .....	4
5.1.1. <i>Direction générale de la concurrence</i> .....	4
5.1.2. <i>Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies</i> .....	4

5.2. <i>Bundesministerium für wirtschaft und klimaschutz (BMWK) – Ministère de l'économie et du climat allemand</i> .....	4
5.3. <i>Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM)</i> .....	4
<b>6. AUTRES ORGANISMES PUBLICS</b> .....	<b>4</b>
6.1. Bpifrance.....	4
6.2. Bordeaux School of Economics.....	5
6.3. Caisse des dépôts et consignations – Banque des territoires .....	5
6.4. Centre d'études prospectives et d'informations internationales (CEPII).....	5
6.5. Conseil d'analyse économique.....	5
6.6. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) .....	5
<b>7. INDUSTRIELS</b> .....	<b>5</b>
7.1. ACSIEL, alliance électronique.....	5
7.2. STMicroelectronics.....	5
7.3. Lynred.....	6
7.4. Soitec .....	6
7.5. Murata Integrated Passive Solutions .....	6
7.6. Renault.....	6

## **1. Cabinets ministériels**

### **1.1. Cabinet du Président de la République**

- ◆ M. Matthieu Landon, conseiller économie, chef de pôle.

### **1.2. Cabinet du ministre délégué au ministre de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique, chargé de l'industrie et de l'énergie**

- ◆ M. Éric Paridimal, conseiller Europe, innovation, filière électronique, industrie du futur.

### **1.3. Cabinet du ministre délégué auprès du ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, chargé de l'industrie**

- ◆ M. Vincent Tejedor, directeur de cabinet ;
- ◆ M<sup>me</sup> Mélanie Przyrowski, conseillère numérique, télécommunications et électronique.

## **2. Administrations centrales**

### **2.1. Services du Premier ministre**

#### **2.1.1. Secrétariat général pour l'investissement**

- ◆ M. Géraldine Leveau, secrétaire générale adjointe ;
- ◆ M. William Vickery, directeur de cabinet adjoint ;
- ◆ M. Marc-Antoine Lacroix, directeur de l'évaluation des investissements publics ;
- ◆ M. Florent Kirchner, directeur du pôle souveraineté numérique ;
- ◆ M<sup>me</sup> Catherine Simon, conseillère numérique industriel ;
- ◆ M. John Palacin, conseiller budgétaire.

### **2.2. Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique**

#### **2.2.1. Direction générale des entreprises**

##### **2.2.1.1. Service de l'économie numérique**

- ◆ M. Jean-Noël Buis, directeur de projets Filière électronique ;
- ◆ M. Jean-Éric Michallet, chargé de mission électronique ;
- ◆ M<sup>me</sup> Catherine de Mazancourt, chargée de mission électronique ;

## **Annexe VIII**

- ◆ M<sup>me</sup> Loane Bedouet, cheffe de projet innovation électronique et enjeux environnementaux ;
- ◆ Isabelle Pene, adjointe à la cheffe de bureau de l'exécution financière ;
- ◆ Guy Sohet, gestionnaire au bureau de l'exécution financière ;
- ◆ Nadine Zannier chargée de mission au bureau de l'exécution financière.

### **2.2.1.2. Service de la compétitivité, de l'innovation et du développement des entreprises**

- ◆ M. Xavier Guillet, directeur de projets Économie numérique, innovation et évaluation ;
- ◆ M. Siessima Toé, chef de projets Évaluation de politiques publiques ;
- ◆ M. Vincent Dortet-Bernadet, directeur de projet autonomie stratégiques et aides d'État ;
- ◆ M<sup>me</sup> Madlie Ericher, chargée de mission ;
- ◆ M. Johan Seux, chargé de mission.

### **2.2.2. Direction générale du Trésor**

- ◆ M. Pierre-Marie Gaillard, chef du bureau Amériques, Asie et Océanie (REP3) ;
- ◆ M. Charly Chotard, adjoint au chef de bureau REP3 ;
- ◆ M<sup>me</sup> Mathilde Heitz, adjointe au chef de bureau REP3.

### **2.2.3. Direction du budget**

- ◆ M. Simon Pineau, chef du bureau énergie, participations, industrie et innovation (3BEPII) ;
- ◆ M. Thomas Caltagirone, adjoint au chef du bureau 3BEPII ;
- ◆ M. Vincent Verbavatz, adjoint au chef du bureau 3BEPII.

## **2.3. Ministère des armées**

### **2.3.1. Direction générale de l'armement**

- ◆ M<sup>me</sup> Corinne Dumas, responsable du pôle matériaux, composants & maîtrise des risques environnementaux ;
- ◆ M<sup>me</sup> Sandrine Lemaire, adjointe au chef du bureau Affaires industrielles-Industrie électronique/numérique.

## **2.4. Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche**

### **2.4.1. Direction générale de la recherche et de l'innovation**

- ◆ M<sup>me</sup> Corinne Borel, cheffe du service de la stratégie de la recherche et de l'innovation (SSRI), adjointe à la directrice ;
- ◆ M. Hervé Martin, chef du secteur mathématiques, physiques, nanosciences ;
- ◆ M. Didier Théron, chercheur au CNRS, chargé de mission au SSRI.

### **3. Services déconcentrés**

#### **3.1. Services régionaux d'Auvergne-Rhône-Alpes (AURA)**

##### **3.1.1. Direction régionale de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités (DREETS)**

- ◆ M<sup>me</sup> Camille Célier, cheffe du service économique de l'État en région, chargée de mission économie et innovation de la secrétaire générale pour les affaires régionales (SGAR) ;
- ◆ M. Guillaume Weber, chef de projet décarbonation de l'industrie et chargé de mission filière microélectronique.

##### **3.1.2. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL)**

- ◆ M. Boris Vallat, adjoint au chef de l'unité départementale de l'Isère.

##### **3.1.3. Délégation régionale académique à la recherche à l'innovation (DRARI)**

- ◆ M<sup>me</sup> Astrid Astier, déléguée régionale académique adjointe.

#### **3.2. Services départementaux de l'Isère**

##### **3.2.1. Préfecture de l'Isère**

- ◆ M. Louis Laugier, préfet d'Isère ;
- ◆ M. Laurent Simplicien, secrétaire général de la préfecture d'Isère, sous-préfet de l'arrondissement de Grenoble ;
- ◆ M<sup>me</sup> Catherine Simon, chargée de mission économie et emploi.

##### **3.2.2. Direction départementale de l'Isère**

- ◆ M. François Gorieu, directeur.

### **4. Collectivités territoriales**

#### **4.1. Grenoble Alpes Métropole**

- ◆ M<sup>me</sup> Mélina Hérenger, vice-présidente chargée du tourisme, de l'attractivité, de l'innovation, de l'université et de la qualité de vie ;
- ◆ M. Cyril Isabello, directeur de l'attractivité, de l'innovation et des équipements d'intérêts métropolitains.

## 4.2. Communauté de communes Le Grésivaudan

- ◆ M. Joris Benelle, directeur général des services ;
- ◆ M. Julien Paramucchio, directeur du développement économique ;

## 5. Institutions publiques internationales

### 5.1. Commission européenne

#### 5.1.1. Direction générale de la concurrence

- ◆ M. Demos Spatharis, chef de l'unité PIIEC, environnement et innovation (COMP.H.2) ;
- ◆ M<sup>me</sup> Gaïa Perissich, stagiaire.

#### 5.1.2. Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies

- ◆ M. Stefano Selleri, unité microélectronique et photonique.

### 5.2. *Bundesministerium für wirtschaft und klimaschutz (BMWK)* – Ministère de l'économie et du climat allemand

- ◆ M. Markus Heiß, sous-directeur (*Ministerialdirigent*) en charge de l'industrie du futur et de la mobilité ;
- ◆ M. Hannes Schneider.

### 5.3. *Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM)*

- ◆ M. Rolf Aschenbrenner, directeur adjoint ;
- ◆ M. Michael Topper, chargé de développement de la fabrique de recherche en microélectronique (FMD) ;
- ◆ M. Erik Jung, chargé de développement.

## 6. Autres organismes publics

### 6.1. Bpifrance

- ◆ M<sup>me</sup> Sophie Rémont, directrice de l'expertise et des programmes ;
- ◆ M. Fabien Boulanger, responsable du secteur microélectronique ;
- ◆ M. Sébastien Montusclat, responsable sectoriel numérique et innovation, microélectronique et cybersécurité ;
- ◆ M. Antoine Vincent, responsable du service suivi des projets d'innovation numérique.

## **6.2. Bordeaux School of Economics**

- ◆ M. Nicolas Carayol, économiste.

## **6.3. Caisse des dépôts et consignations – Banque des territoires**

- ◆ M<sup>me</sup> Marianne Faucheu, directrice du département mandats et investissements d'avenir ;
- ◆ M<sup>me</sup> Christelle de Batz, secrétaire générale du département mandats et investissements d'avenir ;
- ◆ M<sup>me</sup> Lorelei Peysson, responsable des affaires juridiques et évaluation du département mandats et investissements d'avenir.

## **6.4. Centre d'études prospectives et d'informations internationales (CEPII)**

- ◆ M. Vincent Vicard, adjoint au directeur ;
- ◆ M<sup>me</sup> Charlotte Emlinger, économiste.

## **6.5. Conseil d'analyse économique**

- ◆ M<sup>me</sup> Isabelle Méjean, économiste.

## **6.6. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)**

- ◆ M. Éric Dupont-Nivet, adjoint au directeur du laboratoire d'électronique et de technologie de l'information (LETI), chargé des relations institutionnelles, de la construction, du financement et du suivi des programmes nationaux.

## **7. Industriels**

### **7.1. ACSIEL, alliance électronique**

- ◆ M. Stéphane Martinez, président.

### **7.2. STMicroelectronics**

- ◆ M<sup>me</sup> Frédérique Le Grévès, présidente de STMicroelectronics France et vice-présidente de STMicroelectronics Europe en charge des relations publiques, présidente du comité stratégique de la filière des industries électroniques ;
- ◆ M<sup>me</sup> Sophie Burel, directrice des relations institutionnelles ;
- ◆ M. Dominique Thomas, responsables des financements publics en France ;
- ◆ M. Éric Gérondeau, directeur du site de Crolles.

## Annexe VIII

### 7.3. Lynred

- ◆ M. Thierry Tron, directeur financier, affaires juridiques et conformité ;
- ◆ M<sup>me</sup> Constance Motte, responsable des partenariats publics-privés.

### 7.4. Soitec

- ◆ M. José Bériot, vice-président en charge des affaires publiques ;
- ◆ M. François Brunier, responsable des partenariats publics-privés ;
- ◆ M. Éric Dominguez, responsable des partenariats territoriaux ;
- ◆ M<sup>me</sup> Christiane Fauvarque, responsable des financements groupe ;
- ◆ M<sup>me</sup> Camille Soulis, responsable du contrôle des exports et des sanctions internationales.

### 7.5. Murata Integrated Passive Solutions

- ◆ M. Franck Murray, directeur.

### 7.6. Renault

- ◆ M. François Provost, directeur des achats en charge des partenariats et des affaires publiques ;
- ◆ M. Christophe Gaudron, responsable des achats monde ;
- ◆ M. Bruno Vincent, vice-président pour les affaires internationales de Renault.

# **PIÈCE JOINTE 1**

## **Lettre de mission**



**MINISTÈRE  
CHARGÉ  
DE L'INDUSTRIE  
ET DE L'ÉNERGIE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**ROLAND LESCURE**

Ministre délégué

Nos références : MEFI-D24-05880

Paris, le 14 JUIN 2024

**Lettre de mission**

à

Madame Catherine SUEUR  
Cheffe de l'Inspection générale des finances

Monsieur Luc ROUSSEAU  
Vice-président du Conseil général de l'économie,  
de l'industrie, de l'énergie et des technologies

**Objet : Évaluation finale du programme Nano 2022.**

Dans un contexte marqué par une tension géopolitique intense et afin de stimuler la recherche et le développement (R&D), l'innovation et la diffusion de la technologie des semiconducteurs, le Gouvernement a souhaité apporter un soutien à l'industrie de la microélectronique.

Le programme Nano 2022 a ainsi permis de soutenir des projets structurants portés par des entreprises de la filière microélectronique sur une durée de 5 ans, du 1<sup>er</sup> janvier 2018 au 31 décembre 2022. C'est le quatrième programme quinquennal sur la microélectronique. Il vise à promouvoir la recherche, le développement et la première industrialisation de composants électroniques innovants, et à favoriser leur intégration dans le processus d'innovation des filières situées en aval de la chaîne de valeur de l'électronique.

1/3

- 1 -

139 rue de Bercy  
75572 Paris Cedex 12

## Pièce jointe 1

Cette démarche est structurante pour des applications dans les secteurs de l'automobile, de l'Internet des objets, de l'aérospatial, de la défense et de la sécurité.

Le programme Nano 2022 décline et prolonge en France l'*Important Project of Common European Interest Microelectronics* – IPCEI Microelectronics (en français : Projet Important d'Intérêt Européen Commun Microélectronique – PIIEC Microélectronique). L'IPCEI Microelectronics rassemblait quatre pays européens : l'Allemagne, la France, l'Italie et le Royaume-Uni, auxquels l'Autriche s'est jointe ultérieurement. Il s'agit d'un projet consolidé, permettant de déroger aux règles habituelles en matière d'aides d'État et de renforcer la filière à l'échelle européenne.

À l'échelle française, six chefs de file industriels (STMicroelectronics, SOITEC, X-FAB, Murata, UMS, Lynred) pilotent des projets de R&D et à l'exception d'UMS, de premier déploiement industriel (FID) de ce programme. Ils ont rassemblé à cette fin plus de 110 partenaires industriels et académiques répartis sur le territoire national.

**Les financements mobilisés par l'État français pour le programme Nano 2022 s'élèvent à 887 millions d'euros.** Ils proviennent principalement du 3<sup>ème</sup> programme d'investissements d'avenir, auxquels s'ajoutent des financements au titre du fonds pour l'innovation et l'industrie et des financements issus des crédits budgétaires du ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique et du ministère des Armées. Les travaux et les investissements prévus s'appuient sur un financement combiné de l'Union européenne, de l'État, des collectivités territoriales et des partenaires du programme. **Ils visent à générer un investissement total de 5 milliards d'euros.**

La convention du 31 décembre 2019 portant avenant n° 2 à la convention du 29 décembre 2017 entre l'État et la Caisse des dépôts et consignations, relative au programme d'investissements d'avenir, pose dans son article 6 le principe d'évaluation de ce programme Nano 2022 et en décrit les modalités. C'est dans ce cadre qu'une évaluation intermédiaire a été réalisée en 2022<sup>1</sup>.

**Je souhaite vous confier la réalisation de l'évaluation finale du programme Nano 2022** afin d'éclairer le Gouvernement et le public en produisant des analyses portant notamment sur la pertinence, la cohérence, l'efficacité, l'efficience et l'impact du programme.

Il est demandé à la mission de procéder en deux volets :

### Premier volet

- réaliser un état des lieux synthétique du secteur de la microélectronique en 2024 et de son évolution depuis le démarrage du programme, par exemple à la lumière de l'impact des évolutions géostratégiques ;
- examiner si et comment le programme a permis aux entreprises de répondre aux enjeux de souveraineté au niveau national et européen ;
- produire des indicateurs quantitatifs agrégés décrivant l'activité de R&D et de première industrialisation des bénéficiaires du programme (chefs de file et principaux partenaires) ;
- quantifier le développement économique des bénéficiaires du programme (emplois mobilisés, chiffre d'affaires, maturité technologique, etc.) ;

---

<sup>1</sup> Rapport de l'évaluation intermédiaire disponible en ligne à l'adresse : [www.info.gouv.fr/upload/media/organization/0001/01/sites\\_default\\_files\\_contenu\\_piece-jointe\\_2022\\_08\\_rapport\\_de\\_synthese\\_de\\_letude\\_evaluation\\_intermediaire\\_du\\_programme\\_nano\\_2022\\_vfinale.pdf](http://www.info.gouv.fr/upload/media/organization/0001/01/sites_default_files_contenu_piece-jointe_2022_08_rapport_de_synthese_de_letude_evaluation_intermediaire_du_programme_nano_2022_vfinale.pdf)

- étudier les retombées économiques (levier sur investissement privé, nombre d'emplois créés ou sauvegardés au regard de la dépense publique, etc.) au niveau national et territorial : effets de levier, maintien et /ou création de sites industriels, incidence en termes d'impôts et taxes versés par les bénéficiaires, importance des achats, emplois créés, structuration de l'écosystème, effets d'incitation ou de débordement dans les territoires voisins, etc. ;
- produire une analyse critique du pilotage et de la gestion du programme ;
- le cas échéant, formuler des recommandations en matière de politique de soutien à la filière microélectronique et pour la conduite de futurs PIIECs ou d'autres grands programmes structurants du même type ;
- dans la mesure du possible, comparer le soutien apporté à la filière en France, notamment via Nano2022, à celui d'autres pays en Europe (dont en Allemagne, notamment sur Dresde, et en Italie) ou dans le monde (Corée, Taïwan voire USA).

### Deuxième volet

- proposer une analyse de l'impact causal du programme (dépenses de recherche, de développement, d'innovation, performances économiques, etc.) par le recours à des méthodes économétriques<sup>2</sup>. De tels travaux exigent un recul temporel pour que les effets se matérialisent et que les données nécessaires soient disponibles. Dans l'immédiat (premier volet), vous pourrez proposer une méthode et un calendrier de réalisation de cette évaluation économétrique.

Vous pourrez compléter ces éléments par toute analyse supplémentaire que vous jugerez pertinente pour l'évaluation du programme et pour la compréhension des enjeux de la filière et des actions futures à conduire pour son renforcement. En termes de méthode, vos analyses pourront s'appuyer sur les documents techniques, contractuels et économiques ainsi que sur les évaluations précédentes du programme Nano, qui vous seront transmises par la direction générale des Entreprises (DGE), le secrétariat général pour l'Investissement (SGPI) et la Caisse des dépôts et consignations.

Vous pourrez solliciter pour vos travaux la DGE, la direction générale du Trésor, la direction du Budget, la direction générale de la Recherche et de l'Innovation, la direction générale de l'Armement et les autres directions et services des ministères concernés, leurs établissements publics dont le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, ainsi que le SGPI et les opérateurs de France 2030.

Le premier volet du rapport devra être réalisé d'ici fin 2024. Il inclura une proposition de méthode et de calendrier pour la réalisation du second volet. Ces rapports seront notamment communiqués au Comité de surveillance des investissements d'avenir.



Roland LESCURE

<sup>2</sup> La réalisation de cette analyse pourra nécessiter un renfort académique ou scientifique

## **PIÈCE JOINTE 2**

**Fiche relative à l'empreinte  
environnementale des semiconducteurs**

## Fiche relative à l’empreinte environnementale des semiconducteurs

La production et l’usage de produits électroniques s’appuient sur la consommation de ressources naturelles et d’intrants à l’origine de dommages identifiés pour l’environnement. Ces dommages justifient une analyse globale de l’empreinte environnementale de la filière, objet de la présente note, selon le cadre méthodologique développé par l’inspection générale des finances (tamis vert) inspiré de la taxonomie européenne.

Les principaux dommages environnementaux liés aux composants électroniques tout au long du cycle de vie (production, usage, fin de vie ) peuvent être classés selon les deux axes suivants :

- ◆ atténuation climatique :
  - les rejets de gaz fluorés et les émissions liées à la consommation d’électricité constituent les deux premières<sup>1</sup> sources d’émission de gaz à effet de serre pendant la phase de production ;
  - les émissions liées à la consommation d’électricité constituent la principale source d’émission de gaz à effet de serre pendant la phase d’utilisation (datacenters, smartphones, ordinateurs), notamment dans les pays où la production d’électricité est fortement carbonée.
- ◆ gestion des ressources en eau, notamment au moment de la production (lavage, refroidissement) ;
- ◆ de façon plus marginale, la production de composants peut également avoir un impact en termes de biodiversité (artificialisation des sols), de gestion des déchets (faible taux de recyclage), de pollution voire de santé (rejets atmosphériques).

Dans le cadre de la présente note, les dommages environnementaux liés à la production et aux usages de composants électroniques seront respectivement décrits en partie 1 et 2, les pistes permettant de les prendre en compte dans les soutiens publics seront présentés en partie 3.

### 1. D’importantes ressources en eau, en électricité et en intrants chimiques dont certains participent à l’effet de serre sont nécessaires à la production de composants électroniques

#### 1.1. La production de plaquettes brutes contribue à l’empreinte écologique de la filière

Le silicium, composant de base de la majorité des plaquettes utilisées actuellement<sup>2</sup>, est un composant commun dérivé du sable. Son coût d’extraction est marginal. **La transformation du silicium brut en silicium de qualité électronique, puis sa cristallisation via le procédé Czochralski (cf. annexe III) sont en revanche des étapes très énergivores<sup>3</sup>.**

---

<sup>1</sup> Dans les pays pour lesquels l’électricité est majoritairement décarbonée, les émissions de gaz fluorés constituent la première source d’émission de gaz à effet de serre.

<sup>2</sup> J. C. Hess, *Chip Production’s Ecological Footprint : Mapping Climate and Environmental Impact*, Interface, juin 2024 : environ 95 % des plaquettes produites sont en silicium.

<sup>3</sup> *Ibid.*

## Pièce jointe 2

**Bien que minoritaires (de l'ordre de 5 % du marché), les plaquettes en semiconducteurs composites sont à l'origine de dommages écologiques plus importants.** Ces plaquettes sont en général composées d'une couche de silicium cristallin de qualité électronique, et d'éléments chimiques des colonnes III ou V de la classification périodique, tel que le galium, le germanium, l'arsenic ou encore l'indium, dont l'extraction et le raffinage<sup>4</sup> consomment des ressources propres. Les plaquettes composites sont néanmoins nécessaires à certaines applications spécialisées : composants de puissance et radiofréquences par exemple.

D'autres intrants minéraux sont utilisés plus ponctuellement, tout en ayant un caractère stratégique pour l'industrie électronique (cf. annexe V). C'est notamment le cas de plusieurs terres rares qui possèdent des caractéristiques spécifiques et dont l'usage est non substituable (néodyme, lanthane, cérium par exemple), mais qui contribuent peu à l'empreinte écologique de la filière dans son ensemble du fait des faibles volumes consommés<sup>5</sup>.

### 1.2. Les gaz fluorés constituent la principale source d'émission directe de gaz à effet de serre de l'industrie des semiconducteurs.

**La libération dans l'atmosphère de gaz fluorés constitue la principale contribution directe de l'industrie des semi-conducteurs en termes d'émissions de gaz à effet de serre** (entre 80 % et 90 % des émissions directes, le complément étant lié aux liquides calorifiques fluorés<sup>6</sup>). Cela représente actuellement un volume d'émission au niveau mondial de l'ordre de 5 à 15 MTEC (million de tonnes équivalent carbone)<sup>7</sup>, soit 0,01 % à 0,03 % du total des émissions d'origine anthropiques. Ces gaz fluorés sont notamment utilisés lors des phases de gravures et de nettoyage, dans des quantités qui varient en fonction du composant électronique produit : la production d'un composant logique nécessite par exemple une plus grande quantité d'intrants en gaz fluoré que la production de mémoires.

Parmi les 75 intrants chimiques nécessaires à la production de plaquettes, **sept contribuent à plus de 95 % des émissions directes de gaz à effet de serre de la filière** (cf. tableau 1)<sup>8</sup>. Ces composés sont partiellement substituables entre eux, ce qui permet de limiter l'emploi des gaz ayant le plus fort pouvoir d'effet de serre. Ces gaz ne présentent toutefois pas les mêmes propriétés physico-chimiques : à titre d'exemple, le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) présente l'avantage de se décomposer plus rapidement que les autres gaz dans l'atmosphère ; il est également plus facile à recycler ; en revanche, il a un pouvoir d'effet de serre à 100 ans plus important<sup>9</sup>.

**Tableau 1 : Principaux gaz participant aux émissions de gaz à effet de serre de la filière en 2020**

Composant	Volume intrant (kt)	Durée de vie (années)	Pouvoir effet de serre (100 ans)	Émissions réelles (Mtec)
SF <sub>6</sub>	0,7	1 000	24 300	0,4
NF <sub>3</sub>	16,2	569	17 400	1,0
CF <sub>4</sub>	2,6	50 000	7 380	1,5
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0,7	10 000	12 400	0,8
C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	1,2	Non Disponible (N.D.)	N.D.	0,3
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	0,2	2 600	9 260	0,1

<sup>4</sup> Ces minéraux sont souvent des sous-produits d'autres minéraux, dont ils doivent être séparés avant d'être raffinés, ce qui nécessite des ressources en énergie et en eau.

<sup>5</sup> J. C. Hess, *Chip Production's Ecological Footprint : Mapping Climate and Environmental Impact*, Interface, juin 2024.

<sup>6</sup> *Ibid.*

<sup>7</sup> *Ibid.*, graphes 6 et 7.

<sup>8</sup> *Ibid.*

<sup>9</sup> *Ibid.*

## Pièce jointe 2

Composant	Volume intrant (kt)	Durée de vie (années)	Pouvoir effet de serre (100 ans)	Émissions réelles (Mtec)
CHF <sub>3</sub>	0,7	228	14600	0,4

Source : Julia Christina Hess, 20 juin 2024. Chip production's ecological footprint: mapping climate and environmental impact (figure 6) ; The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity Supplementary Material.

La plupart des entreprises de la filière ont engagé des efforts pour réduire les rejets atmosphériques de gaz fluorés. Cela passe par l'installation de filtres qui permettent de retraiter une partie des gaz avant leur rejet dans l'atmosphère. L'entreprise STMicroelectronics mentionne l'installation de tels systèmes sur ses sites de Crolles et d'Agrate en 2021. Ces initiatives permettent de baisser le niveau d'émissions par plaquette (-19 % entre 2010 et 2019<sup>10</sup>), mais pas pour l'ensemble de la filière du fait de la croissance du marché. De ce fait, le niveau global d'émission direct de gaz à effet continue d'augmenter (de l'ordre de +10 % sur la même période<sup>11</sup>).

### 1.3. La production de composants électroniques est une activité électro intensive

**L'électricité est la principale source d'énergie primaire utilisée dans les usines produisant des semi-conducteurs.** Au sein de la chaîne de production, la photolithographie constitue la phase la plus électro intensive<sup>12</sup>. Les progrès technologiques dans la finesse de gravure se sont accompagnés d'une augmentation de la quantité d'électricité nécessaire pour produire une plaquette, notamment car le nombre de répétitions des différentes étapes (dépôt, masque, gravure, cf. annexe III) est plus important<sup>13</sup>. Le couplage de cet effet technologique et de l'effet volume (augmentation du nombre de plaquettes) devrait **conduire à une forte hausse du besoin en électricité pour l'industrie électronique dans les prochaines années**<sup>14</sup>.

En 2021, la consommation électrique de la filière en Europe aurait atteint 10 TWh<sup>15</sup>, soit environ 0,5 % de la consommation européenne d'électricité. Toutefois, **l'empreinte écologique de cette consommation d'électricité dépend fortement des modes de productions électriques**, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre<sup>16</sup>. L'entreprise STMicroelectronics s'est pour sa part engagée dans une politique de sobriété énergétique (baisse de la consommation par plaquette, -20 % entre 2016 et 2022) et d'augmentation de sa part d'électricité d'origine renouvelable<sup>17</sup> afin de baisser son niveau d'émissions indirectes de gaz à effet de serre liées à l'énergie<sup>18</sup>.

<sup>10</sup> Joint statement of the 24<sup>th</sup> meeting of the world semiconductor council (WSC).

<sup>11</sup> J. C. Hess, *Chip Production's Ecological Footprint : Mapping Climate and Environmental Impact*, Interface, juin 2024, graphe 7.

<sup>12</sup> *Ibid.*

<sup>13</sup> *Ibid.*

<sup>14</sup> *Ibid.*, estimé à près de 50 TWh pour la seule production européenne.

<sup>15</sup> *Ibid.*

<sup>16</sup> Presque nulle pour les énergies renouvelables et le nucléaire, importante pour les centrales thermiques.

<sup>17</sup> Essentiellement *via* l'achat de certificats d'économie d'énergie.

<sup>18</sup> *Accelerating sustainability together*, Rapport de STMicroelectronics, 2023, p 102-104.

#### 1.4. L'eau constitue une ressource essentielle utilisée de façon intensive, qui constitue un enjeu pour l'avenir de la filière électronique

L'eau joue un rôle essentiel dans la fabrication des composants semi-conducteurs, notamment dans les étapes de nettoyage, de dépôt, ou comme agent réfrigérant pour les machines de photolithographie.

Lors du processus de photolithographie, les plaquettes doivent être nettoyées entre chaque étape (dépôt de résine, application du masque, gravure, nettoyage). L'eau permet d'éliminer toute impureté, particule ou résidu chimique qui pourrait altérer *in fine* le fonctionnement du composant électronique. L'eau est également utilisée comme solvant pour des produits chimiques nécessaires à la gravure (acides fluorés) ou au dépôt de matériaux (solutions à base d'ammonium) sur les plaquettes. Dans les deux cas, **afin de pas contaminer les plaquettes, l'eau doit être dépourvue de toute impureté (on parle d'eau ultrapure)** : impuretés ioniques comme les sels (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>), métaux lourds (cuivre, fer). On parle d'eau de qualité ultrapure (UPW). Afin d'obtenir ce niveau de pureté, l'eau de ville doit être traitée au sein d'installations dédiées (*cf.* graphique 1).

La ressource en eau est également utilisée comme réfrigérant, notamment pour les machines de photolithographie. Le niveau de pureté requis est alors moins élevé : l'eau utilisée dans le processus de fabrication des plaquettes peut en partie être recyclée pour cela. À titre d'exemple, l'entreprise STMicroelectronics indique recycler 42 % de son eau usagée en 2022 pour servir de réfrigérant<sup>19</sup>.

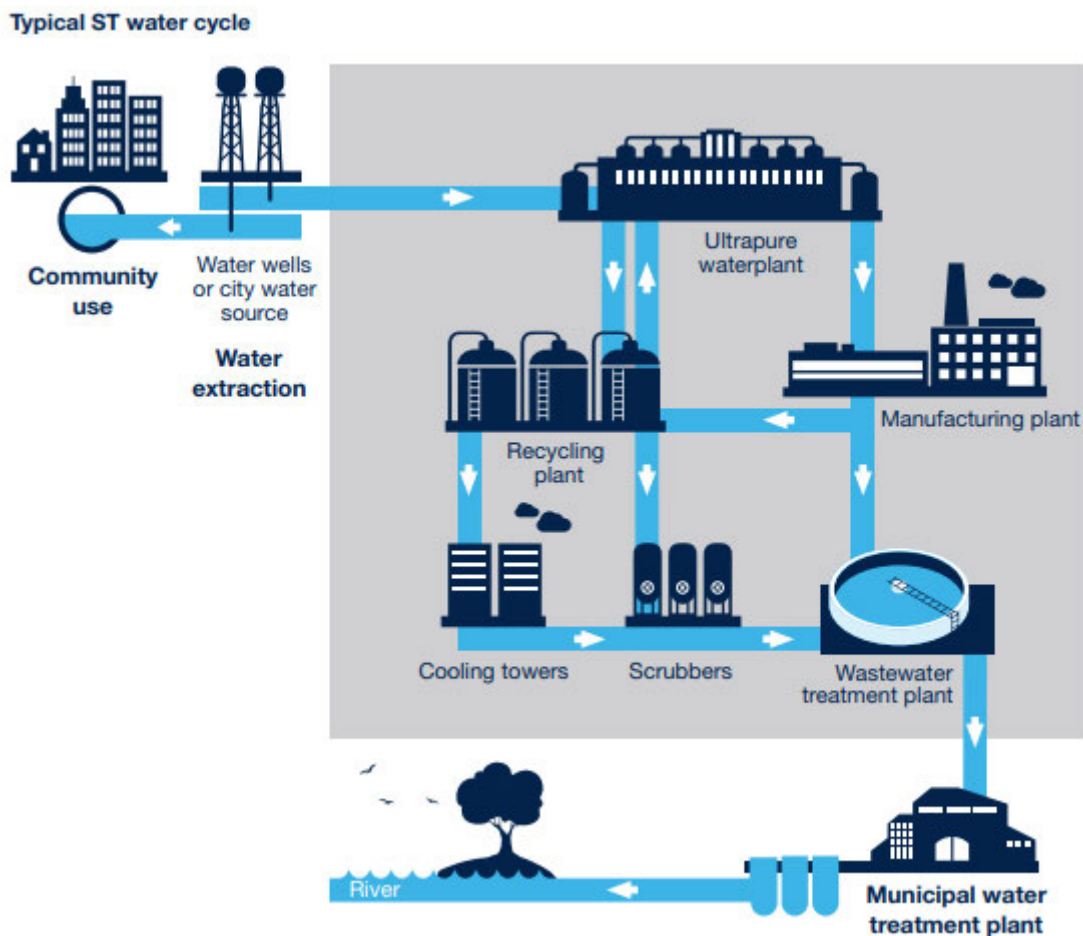
À l'issue du processus de fabrication, l'eau est chargée en métaux lourds et solvants. Elle doit donc faire l'objet d'un retraitement au sein de centres d'épuration dédiés avant d'être rejetée dans la nature<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Il serait en revanche plus compliqué de la recycler à des niveaux de pureté suffisant pour la réinjecter dans le processus de fabrication des plaquettes (*Accelerating sustainability together*, Rapport de STMicroelectronics, 2023).

<sup>20</sup> *Accelerating sustainability together*, Rapport de STMicroelectronics, 2023.

Graphique 1 : Cycle de l'eau au sein d'une usine produisant des semi-conducteurs



Source : *Accelerating sustainability together, Rapport de STMicroelectronics, 2023.*

**L'utilisation de la ressource en eau par l'industrie électronique est intensive et constitue un enjeu pour la filière, notamment dans les régions sujettes au stress hydrique<sup>21</sup>.** En 2021, l'entreprise Samsung prélevait plus de 150 Mm<sup>3</sup> d'eau pour son usage électronique ; les prélèvements d'entreprises intermédiaires comme STMicroelectronics ou Infineon étaient de l'ordre de 20 à 30Mm<sup>3</sup>. La consommation d'eau des 27 plus grandes entreprises produisant des semi-conducteurs s'élevaient ainsi à 789 Mm<sup>3</sup> cette même année (soit 0,02 % de l'eau prélevée)<sup>22</sup>. Néanmoins, ces prélèvements sont très concentrés géographiquement et peuvent être impactants localement : c'est notamment le cas à Taiwan, les épisodes récurrents de sécheresse constituant une menace pour l'entreprise TSMC qui tente d'optimiser le recyclage de la ressource en eau<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> J. C. Hess, *Chip Production's Ecological Footprint : Mapping Climate and Environmental Impact*, Interface, juin 2024.

<sup>22</sup> H. Ritchie, M. Roser, (février 2024). « Water ressource ; water use stress », [Water Use and Stress - Our World in Data](#), consulté le 18 décembre 2024.

<sup>23</sup> B. Terrasson, (31 mar 2023). « À Taiwan, la sécheresse menace la production de semi-conducteurs, encore », [Siècle digital](#), consulté le 18 décembre 2024.

## 2. À l'usage, l'électricité est la principale ressource consommée par les composants électroniques, notamment dans les datacenters.

La mission n'a pu identifier de méthode permettant d'isoler la consommation énergétique attribuable aux composants électroniques dans les produits hybrides (*ie* comprenant des composants électroniques en part minoritaire, par exemple dans une voiture, un objet connecté). La consommation associée aux composants de puissance intégrant les technologies de motorisation électrique est encore plus difficile à comptabiliser : en effet, ces composants participent au report modal du véhicule thermique vers le véhicule électrique, ce qui peut être vu comme une émission négative de gaz à effet de serre par rapport à la situation *ex ante*.

De ce fait, l'analyse du coût énergétique d'usage de l'électronique s'est limitée dans la présente note aux applications dites numériques : smartphones, ordinateurs et datacenters.

- ◆ smartphones : la consommation électrique d'un smartphone est estimée à 5 kWh<sup>24</sup> par an, ce qui correspond à environ une recharge journalière, et à un total de 0.3 TWh par an<sup>25</sup> sur le territoire français (environ 0,05 % de la consommation d'électricité)
- ◆ ordinateurs : la consommation électrique d'un ordinateur de bureau utilisée sur une journée de travail est comprise entre 100 et 500 kWh<sup>26</sup> par an (selon le type d'ordinateur). Si la consommation d'énergie totale est difficile à évaluer du fait des différences d'usages, on peut estimer qu'elle est comprise entre 1 et 10 TWh<sup>27</sup> sur le territoire français (entre 0,2 et 2,0 % de la consommation d'électricité).
- ◆ datacenters : il est plus difficile d'évaluer la consommation française liée à l'usage du cloud dans la mesure où les requêtes peuvent être réalisées auprès de serveurs situés à l'étranger. Au niveau mondial, les datacenters représentaient en 2023 de 2 à 3 % de la consommation d'électricité, soit 350 TWh. En France, la consommation des datacenters présents sur son sol atteignait cette même année 8,5 TWh soit 2 % de la consommation totale d'électricité. Cette part peut atteindre 20 % dans certains pays comme l'Irlande. La consommation d'électricité des datacenters devrait atteindre 800 TWh d'ici 2025 du fait de la croissance des trois usages suivants<sup>28</sup> :
  - streaming : le streaming vidéo se distingue nettement parmi les usages traditionnels des datacenter. Les plateformes telles que Netflix ou YouTube nécessitent de stocker, traiter et transmettre en continu d'importantes quantités de données, ce qui sollicite les ressources des data centers de façon intensive ;
  - IA : l'augmentation des puissances de calcul mobilisées pour entraîner les modèles d'IA est le principal facteur qui a contribué à l'amélioration des modèles (*cf.* Annexe III). Cette augmentation s'est accompagnée d'une augmentation significative de l'énergie nécessaire à la fois lors des phases d'entraînement et d'inférence. La consommation d'électricité associée atteindrait 100 TWh au niveau mondial en 2026<sup>29</sup> ;

---

<sup>24</sup> Les smartphones pointés du doigt par une étude de greenpeace, [ecoconso](#), consulté le 6 décembre 2024.

<sup>25</sup> Sur une base de 60 millions d'utilisateurs, d'après : Les usages numériques des français en 2022, [Minefi](#) (30 janvier 2023), consulté le 6 décembre 2024

<sup>26</sup> E. Chanvry, (5 décembre 2022). « Combien d'électricité consomme un ordinateur », [Hellowatt](#), consulté le 6 décembre 2024 ; L. Villiard, (21 août 2024). « Combien consomme un PC et quel est son cout sur la facture », [Selectra](#), consulté le 6 décembre 2024.

<sup>27</sup> Sur une base de travailleurs utilisant un ordinateur comprise entre 10 et 20 millions de personnes, et sans compter les usages personnels.

<sup>28</sup> Comprendre la consommation énergétique des datacenters, [Socomec](#), consulté le 6 décembre 2024 ; T. Spencer, S. Singh, (18 octobre 2024). « What the datacenter and AI boom could mean for the energy sector », [IEA](#), consulté le 6 décembre 2024.

<sup>29</sup> A. L. Ligozat, A. de Vries, (13 novembre 2024). « IA générative, la consommation énergétique explose », [Polytechnique insight](#), consulté le 6 décembre 2024.

## Pièce jointe 2

- blockchain : la preuve par méthode de travail utilisée dans les principales technologies de blockchain est fortement intensive en énergie. Pour le seul bitcoin, elle serait de l'ordre de 100 TWh actuellement au niveau mondial (l'équivalent de 20 % de la consommation électrique française)<sup>30</sup>. Par construction du modèle bitcoin, la preuve devenant de plus en plus difficile à réaliser, la consommation électrique associée au bitcoin est amenée à augmenter dans le temps.

### 3. Les critères environnementaux sont pris en compte par le PIIEC ME-CT selon le principe de dommage important

Dans le cadre du programme Nano, les fonds publics ont permis de financer des projets de recherche et développement principalement portés par des industriels. Certains projets ont pu être justifiés *ex post* comme permettant de réduire l'empreinte énergétique des produits finaux (par exemple le FDSOI), mais **cela n'a pas constitué un critère de choix *ex ante***. Dans le cadre du second PIIEC, les États membres doivent en revanche apporter la preuve que les projets financés respectent le **principe consistant « à ne pas causer de dommage important »** à l'environnement, selon six critères<sup>31</sup> définis par la commission<sup>32</sup>.

Afin d'intégrer de façon pragmatique la dimension écologique au financement de ce type de programme, il apparaît opportun de faire la différence entre trois types de projets :

- ◆ les projets stratégiques pour la transition écologique, notamment certaines technologies d'électronique de puissance nécessaires au développement de la mobilité électrique et des énergies renouvelables, qui pourraient être soutenues au-delà de ce que suggère la stricte logique industrielle ;
- ◆ les projets dont l'effet est globalement neutre ou dont la tendance n'est pas clairement établie du fait d'effets rebonds non quantifiable, par exemple le FD-SOI, qui doivent être soutenus selon des critères économiques et industriels ;
- ◆ les projets à l'origine de nouveaux usages non essentiels qui vont entraîner une augmentation de la consommation en ressources, par exemple les cryptomonnaies, pour lesquels le soutien public doit être limité sauf enjeu stratégique dument identifié.

**Les aides au développement industriel pourraient par ailleurs être couplées à des mécanismes de soutien dédiés à la décarbonation industrielle et à la sobriété dans l'usage des ressources aquatiques.** À titre d'exemple, il pourrait s'agir d'aider de façon renforcée les entreprises s'étant engagées dans des démarches volontaristes et souvent couteuses de réduction des émissions de gaz fluorés (plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise comme STMicroelectronics) ; ou celles s'étant engagées dans une réduction active de leur consommation de la ressource en eau.

---

<sup>30</sup> M. Perea, (23 novembre 2021). « Le bitcoin consomme presque autant que tous les français réunis », [Selectra](#), consulté le 6 décembre 2024.

<sup>31</sup> Atténuation du changement climatique ; adaptation du changement climatique ; utilisation durable et protection des ressources aquatiques ; économie circulaire ; prévention et réduction de la pollution ; protection et restauration de la biodiversité.

<sup>32</sup> Règlement (UE) 2020/852 du parlement européen et du conseil du 18 juin 2020 sur l'établissement d'un cadre visant à favoriser les investissements durables et modifiant le règlement (UE) 2019/2088.