

# L'USINE NOUVELLE

Demain se fabrique aujourd'hui

## L'ENTRETIEN

Antoine Frérot, PDG de Veolia: « Construisons un grand champion » page 8

## MANAGEMENT

Le bureau n'a pas dit son dernier mot page 58

## STRATÉGIE

Le réveil industriel de l'Europe page 114

## BONNES PRATIQUES

Sécuriser ses données dans un datacenter page 118

## INNOVATION

Le plastique rêve d'un avenir biosourcé page 120

## ANATOMIE D'UN SECTEUR

L'industrie des puces dans tous ses états page 86

## REPORTAGE

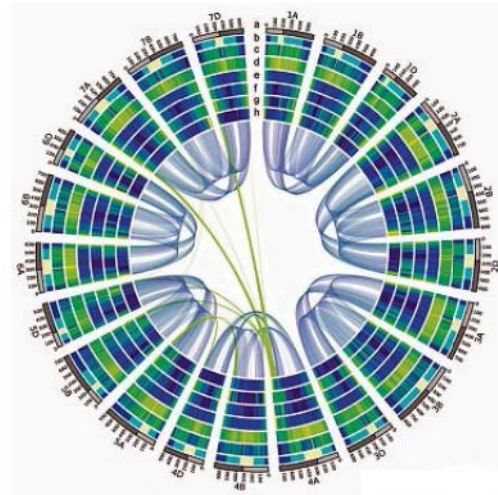
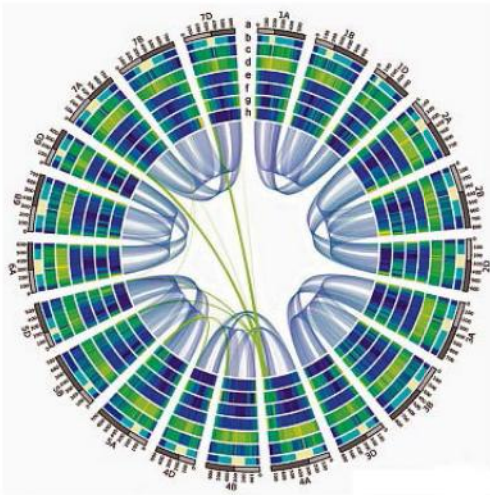
STMicroelectronics au cœur de la Silicon Valley française page 50

## NUMÉRIQUE

La 5G, moteur de l'industrie 4.0 allemande page 128

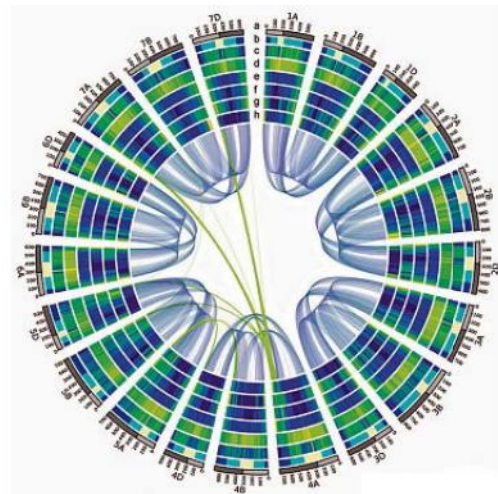
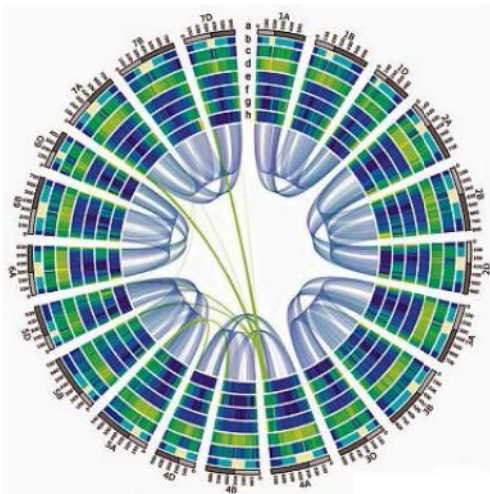
[www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com)

N° 3693 . MAI 2021 . 40 EUROS



## COMMENT LES NOUVEAUX OGM RÉVOLUTIONNENT L'INDUSTRIE

Remplacer le plastique, renouveler les carburants, supprimer les pesticides...  
Tous les industriels peuvent désormais s'emparer des dernières techniques  
de modification du génome et accélérer leur transition écologique.



# STMICROELECTRONICS

L'usine Crolles 2, qui fabrique des plaquettes de 300 mm, s'est agrandie d'une nouvelle unité mise en service à la fin 2020.

# AU CŒUR DE LA SILICON VALLEY FRANÇAISE

C'est à Crolles, dans la vallée du Grésivaudan, que le champion franco-italien des puces développe et fabrique ses produits les plus avancés. Visite d'un site emblématique, unique en Europe continentale.



## PLUS GRAND SITE DE PUCES EN EUROPE CONTINENTALE

- **2 USINES**  
Crolles 1 (plaquettes de 200 mm) et Crolles 2 (plaquettes de 300 mm)
- **4 300 SALARIÉS**, dont 1 000 en R & D
- **25 000 m<sup>2</sup>** de salles blanches
- **CAPACITÉ DE PRODUCTION**  
6 400 plaquettes de 300 mm et 7 000 de 200 mm par semaine
- **6 MILLIARDS D'EUROS** investis depuis la création, en 1992

(SOURCE : ENTREPRISE)

**E**ric Gerondeau a de quoi être fier. Il dirige le site le plus emblématique et le plus avancé de STMicroelectronics : celui de Crolles, près de Grenoble (Isère). Avec ses 4 300 salariés et ses deux usines, Crolles 1 pour les plaquettes de 200 millimètres et Crolles 2 pour celles de 300 millimètres, il est le plus grand site intégré de R & D et de production de puces électroniques en Europe continentale, derrière celui d'Intel en Irlande, et constitue le cœur de la Silicon Valley française. Aux alentours, gravitent d'autres stars de la microélectronique comme Soitec, le leader mondial des substrats de silicium sur isolant ; Lynred, champion européen des capteurs infrarouges ; Tronics Microsystems, spécialiste des Mems à hautes performances ; Teledyne e2v, concepteur de capteurs d'image et convertisseurs de données à haute fidélité pour le spatial, la défense, le médical et l'industrie...

### Chasse aux poussières et aux particules

Pour entrer dans l'usine STMicroelectronics, il faut montrer patte blanche. Lavage des mains au gel hydroalcoolique, changement du masque et prise de température avec une caméra infrarouge. Covid-19 oblige, le protocole sanitaire est strict. Il s'applique aux salariés comme aux partenaires et aux visiteurs. Au sol, un tracé indique le chemin et le sens de circulation. Un escalier est réservé à la montée, un autre à la descente. Les portes sont maintenues ouvertes pour éviter les contacts manuels.

Le rituel du vestiaire est le passage obligé en production. Les agents l'accomplissent deux ou trois fois par jour. Il faut enfiler surchausses, charlotte, gants, blouson, chaussures, cagoule et lunettes. Les salariés de STMicroelectronics sont en bleu, ceux des partenaires en blanc. Prêts à pénétrer dans le saint des saints, la salle blanche où se déroule la fabrication

des puces ? Pas tout à fait. Au seuil d'entrée, il faut marcher sur un paillason spécial, un tapis collant. « Il est remplacé régulièrement, précise Richard Kolic, le directeur des opérations. Il sert à retenir les dernières poussières accrochées aux chaussures. La poussière et les particules sont les ennemies de notre production. » Nous entrons dans la salle blanche de Crolles 2, la seule usine de 300 mm de STMicroelectronics où l'air est renouvelé et filtré toutes les trente secondes, la température maintenue à 21,5 °C et l'hygrométrie à 45 %. Malgré ces conditions agréables, le novice peut vite se sentir étouffé par sa tenue de scaphandrier.

Les puces sont fabriquées sur des plaquettes en silicium de 300 millimètres de diamètre et



## « Nous nous préparons à un doublement du marché »

**ÉRIC GERONDEAU**

Directeur du site  
de STMicroelectronics  
à Crolles (Isère)

### Quels sont les défis auxquels vous êtes confronté ?

D'abord assurer la sécurité de tous en toutes circonstances. Nous avons connu en 2020 une année inédite, qui a mis en lumière la nécessité d'assurer à la fois la sécurité des salariés et la continuité de l'activité pour tous nos clients. C'est toujours ma priorité pendant cette pandémie.

### Comment avez-vous assuré la continuité de la production tout en protégeant les salariés ?

Nous avons installé sur le site plus de 250 distributeurs de gel hydroalcoolique remplis plusieurs fois par jour et distribué des flacons à 6 000 personnes – nos salariés et ceux de nos partenaires. Nous avons également mis en place des règles de circulation, séparé les flux entrants et sortants et décalé les prises de poste pour réduire les croisements d'équipes. Nous avons imposé des règles de distanciation, un mètre, puis deux dans les salles de réunion, les espaces de pause et de restauration. Nous avons aussi favorisé le télétravail pour tous les salariés dont la mission ne nécessite pas une présence sur site, comme la R&D et certaines fonctions de support de la production. Au printemps 2020, nous avons profité de la baisse de la demande dans certaines applications comme l'automobile pour réduire le personnel présent dans la salle blanche. Cette réduction pouvait atteindre 50 % au plus fort de la période de confinement.

### L'expansion du site, très automatisé, se traduit-elle par des embauches ?

Nous avons la chance d'appartenir à une société en croissance

qui a confiance dans les équipes de Crolles et qui investit dans l'expansion du site. Cela s'est traduit par la création de plus de 250 postes en CDI en 2020, malgré la période d'incertitudes. Et nous prévoyons d'embaucher cette année plus de 200 personnes en CDI, en majorité dans les opérations industrielles et la R&D.

### STMicroelectronics est souvent pointé du doigt à propos du manque de parité femmes-hommes. Du moins dans le comex. Qu'en est-il à Crolles ?

Notre effectif comporte 30 % de femmes, avec toutefois plus d'opératrices et moins de techniciennes et d'ingénieures. Nous travaillons pour atteindre la parité. Nous menons des actions visant à donner envie aux jeunes femmes de suivre des formations techniques et scientifiques pour un jour nous rejoindre. Nous avons aussi mis en place un programme d'accompagnement dans leur reconversion à nos métiers. Nous comptons par exemple dans nos rangs une jeune femme qui travaillait comme maquettiste de spectacles et qui est maintenant technicienne de maintenance.

### L'industrie, notamment automobile, souffre d'une pénurie de puces. Que faites-vous pour aider à la résorber ?

Nous avons déjà réalisé une extension de notre usine de 300 m et en construisons une autre. Le groupe a augmenté ses investissements en 2021. Nous nous préparons à un doublement du marché d'ici à la fin de la décennie.



STMICROELECTRONICS

**Locaux techniques** qui alimentent la production en électricité, eau, gaz et produits chimiques.

0,7 millimètres d'épaisseur. Celles-ci subissent leur traitement et voyagent entre les machines et les ateliers sans jamais passer entre des mains humaines. Elles sont soit à l'intérieur des machines pour traitement, soit à l'intérieur de Foup (Front opening unified pods), boîtes en plastique hermétiques qui les protègent de l'air ambiant pourtant beaucoup plus propre que celui dans un bloc opératoire. Chaque Foup contient 25 plaquettes et pèse 8 kg.

Ce qui frappe au premier abord, c'est le ballet incessant de véhicules de convoyage automatique des Foup sur rails, au plafond. Ce système, baptisé AMHS (Automated material handling system), alterne périodes calmes d'immobilisation et périodes assourdissantes d'accélération. Il est régi par un algorithme tellement sophistiqué que les constructeurs automobiles y voient une source d'inspiration pour la voiture autonome. Pas moins de 150 véhicules, suspendus au plafond, sillonnent l'usine Crolles 2 sans déranger personne.

Un système d'ascenseur au-dessus de chaque machine descend la boîte pour le traitement des plaquettes et la remonte à la fin de l'opération. Ces transferts ne nécessitent aucune intervention manuelle. Chaque véhicule parcourt 45 kilomètres par jour. Ce système n'existe que pour les plaquettes de 300 mm. À l'usine Crolle 1, le convoyage des boîtes de plaquettes de 200 mm est assuré au sol par des AGV, chariots autonomes filoguidés, et le transfert des



## Un site hyperprotégé contre les risques industriels

**Comme tous les sites de production de puces,** celui de STMicroelectronics à Crolles (Isère) est classé Seveso, et compte tenu de son importance, il relève du seuil haut de ce classement. La fabrication fait appel à beaucoup de gaz, d'acides, de solvants et d'autres produits chimiques pour le dépôt des différentes couches, le dopage, la gravure et le nettoyage. Oxygène, hydrogène, azote,

acide fluorhydrique, silane... Autant de produits dangereux pour la santé et l'environnement, et dont certains peuvent provoquer des incendies ou des explosions. L'industrie des puces se targue d'être la plus sécurisée en la matière, en raison des investissements énormes qui la caractérisent. Elle subit de temps en temps des accidents (départs de feu, incendies, fuites de gaz...), généralement sans gravité pour

le personnel et l'environnement. Mais jamais de catastrophe comme l'explosion de l'usine chimique de Lubrizol, en septembre 2019 à Rouen (Seine-Maritime). Pour réduire les risques, STMicroelectronics limite le stockage sur site à seulement trois à cinq jours de production et se fait livrer quotidiennement. Parmi ses fournisseurs clés, figurent le français Air liquide et l'allemand Linde.



**Inspection visuelle** des plaquettes de 300 mm dans la zone de métrologie.



**Vue générale** du site de STMicroelectronics à Crolles.

boîtes entre machines et chariots s'effectue manuellement. Elles comprennent 25 plaquettes et pèsent 4 kg, deux fois moins que celles de 300 mm. Le système de convoyage automatique joue un rôle central. «*Nous ne sommes pas dans un processus traditionnel de production linéaire, explique Richard Kolic. Notre industrie utilise un processus qui tourne en boucle.*»

### 600 opérations en moyenne

La fabrication de puces fait appel à une dizaine d'opérations de base: déposition, lithographie, gravure, nettoyage, contrôle... Elles doivent être répétées en boucle des dizaines et des dizaines de fois pour créer les centaines de couches du circuit. En moyenne, environ 600 opérations sont réalisées. C'est pourquoi le cycle de fabrication est particulièrement long: six à douze semaines selon le type de composants.

Et ce n'est pas tout. Une fois leur traitement terminé, les plaquettes partent dans les usines de test, d'assemblage et de packaging du groupe à Malte, au Maroc, en Malaisie, en Chine et aux Philippines, où elles sont testées puis découpées en composants qui sont ensuite montés et soudés dans des boîtiers. Des opérations qui ajoutent deux à trois semaines au cycle de fabrication. Jusqu'à quelques dizaines de milliers de puces sont ainsi produites à partir de chaque plaquette, prêtes à être expédiées aux clients.

La particularité de ce processus industriel en boucle et le coût élevé des équipements de production (la moindre machine représente plusieurs millions de dollars) font que la production ne s'arrête jamais. L'usine tourne 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, avec cinq équipes: trois en semaine et deux le week-end. À l'image du système du convoyage, la fabrication se distingue par une automatisation pous-



**Rail** au plafond pour les véhicules de convoyage automatique des produits.



**Salle blanche** de l'usine Crolles 2 avec son système de convoyage automatique au plafond.



**Insertion** de plaquettes dans une machine pour leur traitement.

sée. Le personnel en salle blanche n'intervient que pour des tâches de supervision, de contrôle, de configuration et de maintenance.

### La photolithographie, étape clé du processus

Dans l'immense zone de métrologie, plusieurs dizaines de machines effectuent toutes sortes de mesures dimensionnelles, comme celle de l'épaisseur des couches déposées sur la plaquette qui peuvent indiquer des problèmes de déféctibilité dans le processus de fabrication. La couche est analysée pour évaluer le pourcentage de particules qu'elle contient et décider du plan de nettoyage chimique à effectuer pour la débarrasser de ces éléments indésirables qui risquent d'affecter le rendement de production. L'opération d'inspection visuelle est confiée à des postes manuels, ce qui est une grande surprise dans un process globalement très automatisé. «Les quelques opérations encore manuelles sont liées

à leur historique ou à leur spécificité», souligne Éric Gerondeau. Elles se justifient par le fait que, dans certains cas, les machines ne peuvent pas remplacer l'expertise humaine.»

La zone de photolithographie constitue une partie clé de l'usine. Elle est reconnaissable par son éclairage jaune, qui tranche avec l'éclairage blanc du reste de la salle blanche. «Le choix de cet éclairage est lié à des raisons historiques», confie le directeur du site. À l'époque, l'éclairage blanc traditionnel risquait de perturber le fonctionnement optique des équipements de lithographie. Ce n'est plus le cas aujourd'hui. Mais nous continuons à utiliser l'éclairage jaune pour bien identifier cette zone particulière de la fabrication.» C'est cette étape qui détermine la finesse de la gravure. La plaquette est enduite d'une résine photosensible. Elle est ensuite exposée à une lumière UV à travers un masque, sorte de pochoir comprenant le négatif du dessin à imprimer. Les parties de résine insolées sont ainsi durcies. Les autres sont enlevées par gravure chimique et



## UN TRAITEMENT INTERNE DES EFFLUENTS

À Crolles (Isère), STMicroelectronics a consommé près de 3 500 000 m<sup>3</sup> d'eau en 2019. Une grande quantité d'eau ultra-pure est utilisée pour rincer les plaquettes de silicium lors de la gravure. Au terme de cette étape, le liquide est chargé en acides et en résidus de silicium. Le site surveille une dizaine de points clés concernant ses eaux usées : aluminium, cuivre, hydrocarbures, fluorures, phosphore, ammoniac, niveau d'acidité et de basicité, matières en suspension et demandes chimique et biochimique en oxygène. Les effluents ne sont rejetés dans

l'environnement qu'une fois traités et sous les seuils légaux. Selon leur nature et leur composition, ils subissent par plusieurs traitements dans les installations du site : physico-chimique, à l'ammoniac, biologique... En outre, l'eau est recyclée en interne à hauteur de 32%. Certaines substances, comme l'ammoniac, sont récupérées après une décantation qui permet d'obtenir des boues à forte teneur en azote. Celui-ci est revalorisé, par exemple

sous forme d'engrais. Veolia est le partenaire de STMicroelectronics chargé du traitement des différentes matières. Dans sa déclaration environnementale de 2019, l'usine de Crolles indiquait rejeter 350 m<sup>3</sup>/h d'effluents aqueux dans la nature. Avec l'augmentation de ses capacités de production, celles de traitement s'agrandissent en conséquence, souligne Éric Gerondeau, le directeur du site. # ROMAN EPITROPAKIS



nettoyage. Elles laissent la place à des sillons qui reçoivent, par une méthode de dépôt de couches minces, l'une des nombreuses couches du circuit. La résine durcie est à son tour enlevée. Et la plaquette est prête à subir à nouveau ce processus jusqu'à créer toutes les couches du circuit. La finesse de gravure va jusqu'à 28 nanomètres.

### Un site classé Seveso seuil haut

La salle blanche n'est que la partie émergée de l'usine. En dessous, sur deux niveaux, se situe le fameux «basement», les locaux techniques qui alimentent les machines de production en électricité, eau, gaz, produits chimiques et autres fluides. C'est une partie essentielle à la production de puces. C'est aussi la partie la plus sensible en termes de sécurité, qui fait que le site industriel est classé Seveso seuil haut. «Nous sommes en alerte permanente», affirme David Ferrand, le responsable de cette partie technique. *Pression, température, débit... Nous suivons énormément de paramètres pour détecter les signaux faibles qui indiqueraient des changements de comportement. En cas d'alarme de sécurité, évacuation immédiate de tout le monde! La priorité est à la sécurité du personnel.* Ces installations techniques offrent un décor impressionnant de bombonnes, de tuyaux et de pompes, donnant l'impression de se trouver dans une raffinerie. «Notre métier est l'électronique», rappelle Éric Gerondeau. Mais

*par certains aspects, nous sommes aussi dans la chimie, les matériaux, l'informatique et bien d'autres disciplines.* »

Au-delà de l'automatisation, le numérique s'incruste dans l'optimisation des flux, le suivi de la production, le contrôle qualité et la maintenance prédictive des machines. Plus de 200 000 capteurs relèvent l'état des équipements sur le site. Ils déversent plusieurs téraoctets de mesures dans un lac de données pour être analysées en temps réel. Là encore, l'analyse vise à détecter les signaux annonciateurs de dérives de process, de pannes de machines et d'alarmes de sécurité. «Dans le cadre de notre démarche d'excellence opérationnelle, nous investissons dans le digital avec une priorité absolue : la sécurité des données», précise Éric Gerondeau. *Nous avons mis en place des jumeaux numériques pour le pilotage en temps réel de nos processus industriels.* »

Grâce à ces outils, les équipes peuvent contrôler à tout moment l'état de l'outil de production et savoir à quel stade se situe le lot de fabrication. Dans le cadre de l'extension de l'usine de 300 mm, l'industriel fait appel à la modélisation 3D et à la simulation, notamment pour préparer le bâtiment au passage des canalisations où s'écouleront les produits chimiques et les fluides nécessaires à la production. Ce qui lui permet de gagner des semaines dans l'installation des équipements. L'intelligence artificielle est déployée pour la détection précoce des pannes des machines, la classification

## SCHNEIDER ELECTRIC Grenoble

Schneider Electric est un client important, qui intègre les puces de STMicroelectronics dans ses produits, et un fournisseur d'équipements électriques comme les onduleurs. C'est aussi un partenaire stratégique sur lequel STMicroelectronics a choisi de s'appuyer pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2027 : réduction de la consommation d'énergie de ses sites de production, stratégie d'approvisionnement en énergies renouvelables, séquestration du carbone pour éviter les émissions de CO<sub>2</sub>.

## SOITEC Bernin

Soitec est à la fois partenaire technologique et fournisseur du fabricant de puces. STMicroelectronics Crolles utilise les substrats de silicium sur isolant de Soitec pour plusieurs familles de composants, dont les imageurs 3D, des microcontrôleurs à mémoire non volatile, des circuits d'assistance à la conduite automobile et des composants radiofréquences de smartphones. Les deux entreprises sont partenaires dans de nombreux projets de R&D dans le cadre du programme Nano 2022.

## CEA-LETI Grenoble

Le CEA-Leti est le partenaire R&D historique de STMicroelectronics. Le site de Crolles et le Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA collaborent dans de nombreux domaines, comme les imageurs spécialisés, les mémoires embarquées non volatiles et le silicium sur isolant, mais aussi dans les procédés de fabrication. Les chercheurs du CEA-Leti profitent des installations industrielles de STMicroelectronics et ceux de STMicroelectronics à Crolles utilisent certains équipements de R&D du CEA-Leti.



F. HENRY REA, DR., P. GUITTET



# PIVOT DE L'ÉCOSYSTÈME ÉLECTRONIQUE GRENOBLOIS

Le site de STMicroelectronics à Crolles est au centre de la filière électronique iséroise. Il entretient des liens étroits avec des partenaires de R&D, des fournisseurs stratégiques et des clients clés.



## APPLE Grenoble

Le géant américain est le plus grand client de STMicroelectronics, dont il a représenté 23,9% du chiffre d'affaires en 2020. Pour se rapprocher de son fournisseur franco-italien de puces, il a ouvert en 2017 un centre de recherche spécialisé dans les imageurs. STMicroelectronics Crolles lui fournit notamment le détecteur infrarouge de la caméra 3D de reconnaissance faciale équipant l'iPhone et l'iPad. Ce composant sur mesure est le premier fruit de la collaboration étroite entre les deux entreprises.

## HUAWEI Grenoble

Le groupe chinois a été un client majeur de STMicroelectronics, qui lui fournissait de nombreux produits sur mesure pour ses équipements de réseaux et ses smartphones, dont des composants radiofréquences construits sur du silicium sur isolant. Pour se rapprocher de son fournisseur, Huawei a ouvert en 2018 un centre de recherche spécialisé dans les capteurs à semi-conducteurs. Mais depuis le dernier tour de vis de l'embargo américain à la mi-septembre 2020, la collaboration entre les deux groupes a été fortement réduite.

## SIEMENS EDA Crolles

Siemens EDA est le fournisseur privilégié de STMicroelectronics en logiciels de CAO électronique. L'ex-Mentor Graphics a été racheté en mars 2017 par Siemens. Les deux parties collaborent dans le développement d'outils d'automatisation de la conception de puces. La collaboration a commencé dans le plan Nano 2019 et se prolonge dans Nano 2022. STMicroelectronics Crolles sert de testeur pilote des nouveaux outils développés par Siemens EDA.





**Chariot automatique** filoguidé de convoyage des produits à l'usine Crolles 1 de plaquettes de 200 mm.



STMICROELECTRONICS

**Plaquettes** de 200 et 300 mm, les deux tailles produites à Crolles.



D.R.

**Chantier** de la nouvelle extension de l'usine Crolles 2.

automatique des défauts ou encore le contrôle en temps réel des process. « C'est un domaine à fort potentiel d'innovation qui va nous aider à aller plus loin dans le contrôle de la défectibilité de nos process et l'amélioration de nos rendements de production », estime Richard Kolic.

### Une nouvelle usine en Italie

Reflet d'une société en forte croissance depuis 2017, le site de Crolles est en pleine expansion. Après une première extension de 1 600 mètres carrés en 2018, l'usine Crolles 2 en a inauguré une deuxième de 1 500 mètres carrés en 2020 et une troisième est en chantier. Le terrain a été préparé pour accueillir jusqu'à dix extensions de 1 500 mètres carrés chacune. De quoi doubler à terme la surface de la salle blanche de Crolles 2. À la fin de l'année 2021, la capacité de production devrait atteindre 7 500 plaquettes par semaine pour Crolles 1 et 7 800 pour Crolles 2.

L'expérience de Crolles 2 est mise à contribution pour l'usine de 300 mm en cours de construction par STMicroelectronics à Agrate, en Italie. Des équipes grenobloises aident leurs collègues italiens à y installer les équipements. Ce futur

site fabriquera sur plaquettes de 300 mm des composants produits aujourd'hui sur plaquettes de 200 mm. Un sacré défi. Le transfert des procédés de fabrication des plaquettes de 200 mm à celles de 300 mm est en train d'être préparé à Crolles 2, de façon à faire gagner du temps lors du démarrage de l'usine d'Agrate à la fin de 2021. Là encore, les équipes françaises sont fières d'apporter leur concours et leur expertise à un projet structurant de l'entreprise qui vise à accroître sa productivité et sa compétitivité. # RIDHA LOUKIL