



SEPTEMBRE
2022



Réindustrialiser la France

Les défis de la transformation
numérique et environnementale

Anaïs VOY-GILLIS

L’Ifri est, en France, le principal centre indépendant de recherche, d’information et de débat sur les grandes questions internationales. Créé en 1979 par Thierry de Montbrial, l’Ifri est une association reconnue d’utilité publique (loi de 1901). Il n’est soumis à aucune tutelle administrative, définit librement ses activités et publie régulièrement ses travaux.

L’Ifri associe, au travers de ses études et de ses débats, dans une démarche interdisciplinaire, décideurs politiques et experts à l’échelle internationale.

Les opinions exprimées dans ce texte n’engagent que la responsabilité de l’auteur.

ISBN : 979-10-373-0584-8

© Tous droits réservés, Ifri, 2022

Couverture : © PopTika/Shutterstock

Comment citer cette publication :

Anaïs Voy-Gillis, « Réindustrialiser la France. Les défis de la transformation numérique et environnementale », *Études de l’Ifri*, Ifri, septembre 2022.

Ifri

27 rue de la Procession 75740 Paris Cedex 15 – FRANCE

Tél. : +33 (0)1 40 61 60 00 – Fax : +33 (0)1 40 61 60 60

E-mail : accueil@ifri.org

Site internet : ifri.org

Auteur

Anaïs Voy-Gillis est docteure en géographie de l'Institut français de géopolitique, chercheuse associée au sein du CEREGE (Université de Poitiers) et directrice associée au sein du cabinet June Partners où elle conduit des missions de conseil opérationnel auprès de clients industriels. Ses recherches portent sur l'industrie et les enjeux de la réindustrialisation de la France, ainsi que sur la montée des nationalismes en Europe. Elle est notamment l'auteure de *Vers la renaissance industrielle*, co-écrit avec Olivier Lluansi (publié aux éditions Marie B) et de *L'Union européenne à l'épreuve des nationalismes*, publié aux éditions du Rocher.

Résumé

Le tissu productif français a été fragilisé par plusieurs décennies de désindustrialisation, marquées notamment par un sous-investissement dans la modernisation des sites de production. Face à l'ambition de réindustrialiser la France, les entreprises françaises, comme celles des voisins européens, doivent entreprendre un processus de transformation pour réussir ce pari dans un contexte de concurrence internationale.

Réindustrialiser passe nécessairement par une amélioration de la productivité et une adaptation aux évolutions de la demande. L'émergence de l'économie de la fonctionnalité, le mouvement vers la personnalisation de masse et les nouvelles exigences en matière de recomposition des chaînes de valeur sont autant d'évolutions qui appellent à repenser les processus productifs. De là, deux axes sont particulièrement structurants pour mener à bien la réindustrialisation : la transformation numérique et la prise en compte des défis environnementaux.

Le développement du numérique et des nouvelles technologies dans les usines est clé. En échos aux programmes politiques pour « l'industrie du futur », cette transformation passe, concrètement, par l'adoption de certaines briques technologiques et une exploitation des données comme leviers de la performance industrielle et de la réponse à la demande. Les freins à la transformation numérique en France sont encore nombreux et nécessitent un effort de pédagogie pour montrer la pertinence d'engager ce changement.

La seconde transformation revient à intégrer la question environnementale, qui devient centrale dans le modèle de développement des entreprises. Pour respecter les accords de Paris, il est nécessaire que chacun s'engage dans l'effort de décarbonation, mais pas seulement : cet enjeu nécessite une approche systémique et doit avoir une portée plus large. La préservation de la biodiversité, la gestion des ressources en eau, le choix des matières ou encore la conception des produits sont des sujets centraux encore trop peu explorés. Cette adaptation, nécessaire, est donc également une opportunité significative en termes d'innovation.

Les transformations numérique et environnementale de l'industrie sont à conduire en parallèle et se répondent. Cette double transformation oblige à penser de manière conjointe politiques environnementales et industrielles afin de ne pas définir des politiques antinomiques.

Abstract

The French industry has been weakened by several decades of de-industrialization, marked in particular by under-investment in the modernization of production sites. Faced with the ambition to reindustrialize the country, French companies, like those of their European neighbors, must undertake a process of transformation to succeed in this challenge in a context of international competition.

Reindustrializing requires improving productivity and adapting to changes in demand. In this regard, several factors call for a rethinking of production processes, including the emergence of an economy based on functional adaptation and service, the movement towards mass customization, and new requirements in the organization of value chains. From there, two aspects in particular will play a pivotal role in the reindustrialization process: digital and environmental transformation.

The development of digital and new technologies in factories is key. Echoing political programs for the «industry of the future», this transformation supposes, concretely, to adopt certain technologies and gather and use data, as both are levers of industrial performance and response to demand. There are still numerous obstacles to digital transformation in France, therefore it is necessary to raise awareness and show why initiating this change is relevant for the industry.

The second transformation involves taking into account environmental considerations, which become central to the business development model. To respect the Paris agreements, it is necessary that everyone commits to the decarbonization effort, but not only: this issue requires a systemic approach and must have a broader scope. The preservation of biodiversity, the management of water resources, the choice of materials or the design of products are central subjects that are still too little explored. This necessary adaptation is thus also a significant opportunity in terms of innovation.

The digital and environmental transformations of the industry must be carried out in parallel and respond to each other. This double transformation forces us to think jointly about environmental and industrial policies so as not to define contradictory policies.

Sommaire

INTRODUCTION	6
COMPRENDRE LA DÉSINDUSTRIALISATION POUR BÂTIR UNE RÉINDUSTRIALISATION DURABLE.....	9
La promotion du modèle fabless	9
Les motivations de la réindustrialisation.....	10
Réinvestir dans les usines françaises	12
L'ÉMERGENCE D'UN NOUVEAU PARADIGME INDUSTRIEL AVEC L'ÉVOLUTION DES MODES DE CONSOMMATION ?	15
Réindustrialiser ou relocaliser ?	15
L'émergence d'un nouveau paradigme avec l'économie de la fonctionnalité ?	20
Recomposition des chaînes de valeur, nouvelle organisation industrielle	22
La personnalisation de masse des produits, levier de la réindustrialisation ?	25
LE DÉFI DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DES USINES ET DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES	27
L'industrie du futur : de quoi parle-t-on ?	27
Les effets de la transformation numérique	33
Les briques technologiques de l'industrie du futur	36
Les données, nouvel Eldorado de l'industrie ?	43
LA TRANSFORMATION DE L'INDUSTRIE FACE AUX DÉFIS ENVIRONNEMENTAUX.....	46
Lier réindustrialisation et question environnementales.....	46
L'enjeu de la décarbonation des productions et des usages	51
L'approche systémique au service de la réponse environnementale.....	55
CONCLUSION :	
CHOISIR DANS UN CONTEXTE GÉOPOLITIQUE INCERTAIN	58

Introduction

Le contexte géopolitique et sanitaire récent, entre guerre en Ukraine et pandémie de Covid-19, a remis à l'agenda politique la question de la renaissance de l'industrie française et le besoin de renforcer la souveraineté du pays. La pandémie et la guerre en Ukraine ont montré la fragilité de l'extrême fragmentation des chaînes de valeur, les limites du modèle d'un pays sans usine et la dépendance de la France dans les domaines de l'énergie, de l'industrie et du numérique. S'il est toujours possible de discuter et de relativiser la notion de dépendance, il se joue à travers la question de la réindustrialisation une bataille autour de la place de la France dans le monde et sa capacité à maintenir sur le temps long son modèle de société.

Les crises récentes ont également permis de rendre visible l'organisation mondiale de la production, la complexité des chaînes de valeur et l'hétérogénéité du poids de l'industrie dans le produit intérieur brut (PIB) des États membres de l'Union européenne (UE). Cette prise de conscience de la réalité industrielle française s'est faite avec une forme de violence symbolique alimentée notamment par les images présentées en boucle sur les télévisions durant les premiers mois de la crise¹. Pourtant, la désindustrialisation de la France et les risques associés avaient largement été identifiés ces dernières années². Aujourd'hui, si les causes racines de la désindustrialisation font encore l'objet de débats entre la responsabilité des acteurs³ et la mise en cause de facteurs macro-économiques, la nécessité de réindustrialiser la France semble faire consensus. Toutefois, l'élection présidentielle de 2022 a démontré qu'il n'y avait pas de vision commune sur le « pourquoi » et encore moins sur le « comment ». Cette fragmentation des visions et des aspirations pourrait être un frein à une renaissance industrielle pérenne, notamment sur le rapport entre industrie, environnement et vivant.

1. On peut citer plusieurs événements comme les sacs-poubelle portés par le personnel hospitalier en guise de blouse médicale, un convoi de masques bloqué dans un aéroport chinois, les multiples ruptures d'approvisionnement sur le matériel médical de première nécessité, etc.

2. Après la crise financière de 2008, la France a lancé en 2009 les États généraux de l'industrie pour faire l'inventaire de sa situation industrielle. Ils ont donné lieu à un rapport remis en février 2010 rappelant les faiblesses de l'industrie française et émettant une liste de préconisations à mettre en place. Il a été suivi d'un rapport réalisé par Louis Gallois en 2012. Il est également possible de trouver un certain nombre de rapports parlementaires abordant le sujet. Lire J. F. Dehecq, « États généraux de l'industrie. Bilan de la concertation. Rapport final », février 2010, disponible sur : www.vie-publique.fr et L. Gallois, « Pacte pour la compétitivité de l'industrie française », novembre 2012, disponible sur : www.vie-publique.fr.

3. N. Dufourcq, *La désindustrialisation de la France. 1995-2015*, Paris, Odile Jacob, 2022.

Par ailleurs, la renaissance industrielle ne peut pas être uniquement une aspiration politique, mais doit aussi être portée par des entreprises désireuses de maintenir et de développer leurs activités industrielles en France de manière durable. À ce titre, la pandémie a rappelé que le tissu productif français avait été fragilisé par plusieurs décennies de désindustrialisation, marquées par un sous-investissement dans l'automatisation et la modernisation des sites de production, ainsi qu'une réduction des marges de manœuvre financières des entreprises. La réindustrialisation passe aussi par une transformation et une modernisation des industries existantes pour garantir leur pérennité et leur capacité à répondre aux évolutions de la demande dans un contexte de concurrence mondiale et de crise climatique. Si l'image ternie de l'industrie et l'idée que la France n'était plus une nation industrielle ont participé de ce désengagement des usines, elles ont également contribué à donner l'image d'une industrie où l'on ne peut pas faire carrière. Ce déficit d'attractivité et la pénurie de compétences seront un frein à la réindustrialisation.

Les transformations à conduire pour l'industrie sont nombreuses : numérique, environnementale et organisationnelle⁴. Elles sont à conduire en parallèle et se répondent. Cette étude s'attèle à comprendre les enjeux et les dynamiques autour des deux premières transformations. Le développement du numérique et des nouvelles technologies dans les usines est clé pour améliorer la productivité et être en mesure de répondre aux évolutions de la demande. Les freins à cette transformation sont encore nombreux et nécessitent un effort de pédagogie pour montrer la pertinence d'engager ce changement. Elle soulève également des questions de souveraineté numérique puisque de nombreuses solutions nécessitent d'utiliser les données de l'entreprise et sont offertes par des entreprises américaines et asiatiques.

La lutte contre le réchauffement climatique, conséquence de nos modes de vie actuels, concerne toutes les entreprises et les oblige à intégrer cette question à la fois dans leur manière de produire et de distribuer leurs produits, mais aussi dans leur modèle économique. Cette transition est à lire à travers un prisme plus large que la seule question de la décarbonation. Ce dernier sujet commence à être assez largement intégré par les industriels, mais bien d'autres sont à aborder pour appréhender l'empreinte environnementale d'une entreprise. Par exemple, la chute de la biodiversité rappelle l'importance d'adopter une approche systémique⁵. La guerre en Ukraine a, quant à elle, mis en avant la nécessité d'opérer rapidement une

4. Au côté de la transition numérique et environnementale, les entreprises sont confrontées à des transformations de nature organisationnelle. Il concerne à la fois l'organisation du travail, l'évolution des modes de travail et la qualité de vie au travail. Toutefois, il sera peu abordé dans cette étude qui se concentra sur les deux grands défis que sont le numérique et l'environnement pour les organisations industrielles et leur impact sur la réindustrialisation.

5. « Le rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques », Ipbes, juillet 2022, disponible sur : <https://ipbes.net>.

transition énergétique pour réduire la dépendance aux autres nations et pour atteindre les objectifs que la France s'est fixée en matière de transition énergétique. Cette évolution du mix énergétique national avec la volonté de sortir de la dépendance aux énergies fossiles concernera les industriels sur l'énergie utilisée, mais aussi sur les matières employées. Enfin, si la question de la sobriété passe par une évolution de la demande comme le rappelle le rapport du groupe III du GIEC⁶, les entreprises ont à intégrer ce paramètre dans leur stratégie moyen et long termes car elle aura un impact sur la nature de leurs productions et les volumes produits.

Ainsi, cette étude reviendra dans un premier temps sur les causes de la désindustrialisation, et les motivations de la réindustrialisation. Cette compréhension est clé pour espérer un rebond durable de l'industrie française. La deuxième partie sera consacrée aux évolutions nécessaires dans les modèles économiques et industriels au regard de l'évolution de la demande. Enfin, en s'appuyant sur de nombreux exemples d'entreprises françaises et internationales, nous examinerons les dynamiques en cours vers une double transformation de l'industrie par la numérisation et la prise en compte des enjeux environnementaux. Nous montrerons que la transformation numérique des usines présente des opportunités pour répondre aux évolutions de la demande, et que la question environnementale dans l'industrie doit être saisie dans une approche systémique plus large que la décarbonation.

6. « Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change », GIEC, avril 2022, disponible sur : <https://report.ipcc.ch>.

Comprendre la désindustrialisation pour bâtir une réindustrialisation durable

La France n'est pas le seul pays occidental à avoir connu un processus de désindustrialisation à partir du milieu des années 1970 comme l'illustrent les données de l'OCDE⁷ et de la Banque mondiale⁸. Toutefois, la France est le pays de la zone euro où le poids de l'industrie dans le PIB est le plus faible actuellement à l'exception du Luxembourg. Selon les données de l'OCDE, elle représente 10 % du PIB en France en 2021, 12,1 % aux Pays-Bas, 14,5 % en Suède, 17 % en Italie et 20,2 % en Allemagne.

La promotion du modèle fables

Cette désindustrialisation débute avec les chocs pétroliers, qui marquent la fin d'une parenthèse ouverte aux lendemains de la Seconde Guerre mondiale, et la faillite de nombreux fleurons industriels français (Manufrance, Groupe Boussac, etc.). La période se caractérise par une évolution profonde du rapport des élites dirigeantes à l'industrie avec la promotion d'un discours sur la société post-industrielle. La fin de l'industrie devenant acceptée grâce à l'idée d'un transfert des activités vers les services, l'État se met en situation de gérer le déclin industriel pour minimiser les impacts sociaux des fermetures de sites industriels⁹. Le cadre européen limite les possibilités de conduire des politiques sectorielles, alors qu'elles ont marqué les mandats du général de Gaulle et de Georges Pompidou, et favorise les politiques horizontales. Ainsi, la France concentrera ses efforts sur des politiques de soutien à l'innovation dans le but d'atteindre les 3 % de points de PIB investis dans la R&D fixés par la stratégie de Lisbonne. Cet objectif n'a jamais été atteint à ce jour.

7. OCDE, Valeur ajoutée par activité (indicateur).

8. Banque Mondiale, Valeur ajoutée par activité. Données sur la fabrication. <https://donnees.banquemondiale.org>.

9. E. Cohen, *L'État brancardier, politiques du déclin industriel (1974-1984)*, Paris, Calmann-Levy, 1989.

Avec la désindustrialisation, les activités industrielles sont transférées progressivement des pays occidentaux vers les pays en voie de développement, sous-estimant les ambitions de croissance économique et industrielle de ces derniers et pensant qu'ils se satisferaient d'une position de pays atelier. Autrement dit, les mouvements de délocalisation ont été accompagnés de transfert de technologies et ont sous-estimé l'importance de la proximité entre lieu d'innovation et lieu de production. Ce mouvement va s'accélérer en France à partir du milieu des années 1990, lorsque délocaliser était présenté comme la solution pour les entreprises industrielles occidentales qui souhaitent survivre à la mondialisation. Cette idée fait consensus aussi bien dans les entreprises que chez leurs conseillers ou chez les décideurs politiques. Présentée comme un mouvement inéluctable, l'idée d'entreprise sans usine, *fabless*, est largement médiatisée, notamment par l'ancien PDG d'Alcatel, Serge Tchuruk¹⁰. Le groupe passera de 120 sites industriels et 150 000 salariés dans le monde au début des années 2000 à 58 000 salariés et 30 sites de production en 2003¹¹. Cette idée d'entreprise sans usine a été promue par d'autres entreprises comme le groupe Nike qui, dès sa création, a construit son organisation sur un partage des tâches. Nike s'occupe du design, de la conception, des brevets et de la distribution des produits. Les sous-traitants prennent en charge la fabrication¹². La localisation des usines dans des pays à faibles coûts de main-d'œuvre offre à l'entreprise une réduction drastique des coûts de production et une garantie de marges élevées. Cette vision a été développée dans de nombreuses autres filières, en particulier dans l'électronique, permettant l'émergence de groupes comme TSMC, leader mondial de la production de semi-conducteurs qui se concentre sur la production des composants.

La désindustrialisation a conduit à une réorganisation mondiale de la production au profit de pays comme la Chine, l'Inde ou des pays d'Europe centrale et orientale (PECO). Ainsi, après près de quatre décennies de recul du poids de l'industrie dans le PIB et de destruction d'emplois industriels, il peut apparaître étonnant de voir se multiplier les appels à réindustrialiser et à redevenir souverain sur le plan industriel. Au regard de la fragilité du tissu productif français et du poids de l'industrie dans le PIB, la réindustrialisation apparaît comme un pari complexe, coûteux et long, mais nécessaire.

Les motivations de la réindustrialisation

Il est difficile de définir une stratégie industrielle de long terme sans consensus autour des buts poursuivis, notamment au regard des enjeux climatiques qui obligent à repenser en profondeur les modèles de production, de distribution et de consommation. Or, les motivations pour

10. O. Meier et J.-C. Pacitto, « *L'entreprise sans usines : un dogme* », *Les Échos*, 24 octobre 2003.

11. P. Polard, *De la suite dans les idées : Ma bataille des idées*, Paris, Librinova, 2018.

12. T. de Jaegher, « Petite histoire des "sans-usines" », *L'Usine Nouvelle*, 3 septembre 2011.

réindustrialiser la France peuvent être différentes en fonction du projet de société défendu et n'appellent donc pas forcément aux mêmes réponses. En outre, si la nécessité de réindustrialiser fait consensus, aucun candidat à l'élection présidentielle ne s'engage avec des objectifs chiffrés comme l'évolution du poids de l'industrie dans le PIB, l'évolution des volumes exportés, etc.

Les débats récents ont montré différentes motivations, dont la première est de renforcer la souveraineté de la France en réduisant la dépendance de la France sur le plan industriel. Cette dépendance a donné lieu à de nombreuses évaluations en 2020-2021¹³, sans qu'émerge une vision partagée du périmètre et des critères à évaluer. Si la dépendance n'est pas un problème lorsqu'elle est un choix, elle en devient un quand elle est impensée et donc subie. Cette question de souveraineté appelle à avoir un raisonnement qui intègre, au-delà de l'économie, des éléments juridiques et géopolitiques. En effet, cette volonté de réindustrialiser la France s'inscrit également dans un contexte géopolitique complexe où plusieurs nations affichent des ambitions claires en matière industrielle et sont tentées par une sorte de nationalisme des ressources. Or, dans bien des domaines, la France a vu son indépendance se réduire, notamment en raison de la vente d'entreprises dites stratégiques comme Aldebaran, entreprise pionnière de la robotique, vendue à SoftBank, *holding* japonaise, en 2012, ou encore Tronics, spécialisée dans la fabrication de microsystemes électromécaniques, vendue à l'entreprise japonaise TDK en 2017. La Chine a également conduit plusieurs opérations pour racheter des entreprises, en particulier des start-ups françaises et des entreprises du secteur du semi-conducteur¹⁴. La Chine a identifié dans sa stratégie *Made in China 2025* les secteurs clés pour garantir son indépendance et s'attelle à opérer des rachats ou à développer des activités nationales dans ces domaines¹⁵. En parallèle, la France a perdu des avantages comparatifs dans certains secteurs par manque d'investissement dans l'innovation et dans la modernisation des sites productifs, fragilisant sa capacité à exporter. La perte de ses avantages s'est faite dans un premier temps au profit des autres pays européens puis, dans un second temps, avec les pays d'Asie.

13. Plusieurs études ont été publiées sur le sujet, on peut citer notamment : A. Reshef et G. Santoni, « Chaînes de valeur mondiales et dépendances de la production française », *La lettre du CEPII*, n° 409, CEPII, juin 2020 ; C. Bonneau et M. Nakaa, « Vulnérabilité des approvisionnements français et européens », *Trésor Eco*, n° 274, Direction Générale du Trésor, décembre 2020 ; F. Bayrou, « Reconquête de l'appareil productif : la bataille du commerce extérieur », *Note d'ouverture*, n° 10, Haut-Commissariat au Plan, décembre 2021 ; P. Hérault, « Comment renforcer la souveraineté à l'heure des chaînes de valeur mondiales ? », *Études de l'Ifri*, Ifri, décembre 2021 ; S. Primas, A. Gacquerre et F. Montaugé, « Cinq plans pour reconstruire la souveraineté économique », Rapport d'information, n° 755 (2021-2022), Sénat, juin 2022.

14. J. Bouissou, « La Chine tente de prendre le contrôle d'entreprises européennes de semi-conducteurs, y compris en France », *Le Monde*, 17 mars 2021.

15. M. J. Zenglein et A. Holzmann, « Evolving Made in China 2025. China's Industrial Policy in the Quest for Global Tech Leadership », Mercator Institute for China Studies, n° 8, juillet 2019.

La seconde motivation à la réindustrialisation porte sur la cohésion sociale et territoriale du pays. L'industrie a une capacité de création d'emplois forte puisqu'il est généralement admis qu'un emploi industriel permet de générer des emplois indirects chez les sous-traitants de l'entreprise, ainsi que des emplois induits dans le reste du bassin d'emploi dans les activités de service et les commerces. Il faut, toutefois, trouver un équilibre entre le développement de l'industrie dans ou à proximité des métropoles et dans les zones peu densément peuplées.

La troisième motivation est liée à la crise climatique. Si industrie et environnement semblent être antinomiques, il est pourtant impératif de lier les deux sujets. La réindustrialisation est un levier pour réduire l'empreinte carbone de la France en baissant la part des émissions importées comme nous l'illustrerons en partie 4. En effet, leur poids rend l'atteinte de la neutralité carbone en France tributaire des trajectoires d'émissions des autres pays qui exportent leurs produits et leurs services. Les sujets à traiter sont nombreux : raccourcir les chaînes de valeur, réduire les tailles de série, ou fonctionner selon les principes de l'économie circulaire sont des moyens pour réduire l'impact environnemental des productions. Après l'ère d'un fonctionnement économique sur le modèle du lego¹⁶ où les fabricants achètent dans le monde entier les différents composants nécessaires, il semblerait que nous entrions dans une ère de régionalisation de la production pour répondre aux besoins des marchés locaux.

Si les motivations sont un préalable à l'action, la France souffre toutefois d'un retard dans la numérisation et la robotisation des usines. La réindustrialisation repose donc sur un nécessaire réinvestissement dans les usines, intégrant aussi des sujets comme la qualité de vie au travail.

Réinvestir dans les usines françaises

Le sous-investissement dans l'outil productif au cours de ces vingt dernières années a pour conséquence un parc machines plus vieux que la moyenne européenne et une plus faible robotisation avec en moyenne 194 robots installés pour 10 000 salariés en 2020 en France contre 224 en Italie, 371 en Allemagne et 932 en Corée du Sud¹⁷. Toutefois, notons une nette évolution en France puisqu'en 2017, il y avait en moyenne 132 robots en France pour 10 000 salariés contre 309 en Allemagne et 185 en Italie¹⁸. Il s'agit bien entendu d'un chiffre moyen qui masque des disparités fortes entre les filières. La pandémie a marqué un tournant avec une multiplication des projets d'investissement dans la modernisation des sites de production. Le plan de relance français a sûrement joué un rôle, avec de nombreuses aides à

16. S. Berger, *Made in Monde*, Paris, Points, 2013.

17. International Federation of Robotics, 2020.

18. « La Robotisation s'intensifie au niveau mondial », Communiqué de presse, International Federation of Robotics, 7 février 2018.

l'investissement. Les aides attribuées pour engager la transformation vers l'industrie du futur représentent en 2022 un montant de 833,83 millions d'euros d'aides d'État accordées à 7 735 entreprises¹⁹. Le plan de relance a accordé des aides pour la décarbonation des unités de production et la relocalisation d'activités industrielles. Le plan de relance était doté de 100 milliards d'euros pour l'ensemble des secteurs à 40 % financés par des fonds attribués par l'UE et 60 % par la France. Il a mélangé des aides directes avec des mesures fiscales comme la baisse des impôts de production. Le plan d'investissement « France 2030 » devrait favoriser une poursuite de la robotisation des sites industriels, d'autant que la pénurie de main-d'œuvre pousse de plus en plus d'industriels à s'y intéresser. Plus largement, « France 2030 » entend poursuivre 10 objectifs pour mieux comprendre, mieux vivre, mieux produire en France à l'horizon 2030²⁰. Il a pour ambition de faire émerger les entreprises technologiques de demain et d'engager les transitions dans les secteurs clés de l'économie française (énergie, automobile, aéronautique, espace). Le budget est de 30 milliards d'euros, auxquels s'ajouteront les fonds du programme d'investissement d'avenir (PIA).

La question de la modernisation et de la robotisation est clé car l'âge des machines a un impact sur la capacité à répondre aux évolutions de la demande et sur la compétitivité des entreprises²¹. Ainsi, l'obsolescence du parc machine français réduit sa capacité à fournir des produits plus complexes et à forte valeur ajoutée. Les enjeux de modernisation doivent faire l'objet d'une approche sectorielle puisque les besoins et les défis ne sont pas les mêmes pour l'automobile, l'aéronautique ou encore l'agroalimentaire.

En dehors des chiffres sur le taux de robotisation ou l'âge moyen du parc machine, il apparaît que les industriels français font partie des plus importants investisseurs de l'UE avec 80 milliards de dépenses d'investissement en 2015. Le taux d'investissement du secteur manufacturier français est plus élevé qu'en Allemagne (25,7 % contre 19 % en 2016). Néanmoins, le poids de l'industrie manufacturière étant plus important dans l'économie allemande, la dépense d'investissement de ce secteur est, en valeur, deux fois plus élevée que celle constatée en France : 56,4 milliards d'euros en 2016 contre 114,5 milliards en Allemagne. De plus, elle a augmenté en Allemagne de 28 % sur la période 2006-2015 quand elle a augmenté seulement de 9 % en France²².

19. Données mises à disposition par le gouvernement au 08/04/2022, disponible sur : www.economie.gouv.fr.

20. Discours du président de la République, Emmanuel Macron, prononcé le 12 octobre 2021, à l'occasion de la présentation du plan « France 2030 ». Discours consultable en ligne : www.elysee.fr.

21. Roland Berger, « Étude prospective sur la modernisation de l'appareil productif français », *Synthèse du diagnostic et des recommandations*, Étude pour la Direction générale de la compétitivité de l'industrie et des services, Symop et Gimélec, 2014.

22. S. Guillou, C. Mini et R. Lallement, *L'investissement des entreprises françaises est-il efficace ?*, Paris, Presses des Mines, 2018.

Une des explications pour expliquer la dégradation de la compétitivité hors coût de la France serait le manque d'investissement dans l'amélioration de la qualité des produits et l'innovation. Un autre argument avancé pour expliquer le décrochage entre la France et l'Allemagne est le niveau de robotisation. Les freins à la modernisation de l'outil productif peuvent être de différentes natures. Le premier est l'accès au financement, réputé difficile avant la pandémie, souvent accompagné d'une incertitude économique qui freine les dirigeants dans la prise de risque. Le deuxième élément est le déficit de compétences au sein de certaines entreprises pour intégrer de nouvelles technologies et le manque de temps des équipes pour s'emparer du sujet. Le troisième élément est la faible connaissance de l'offre française qui ne stimule pas la modernisation des sites industriels et le manque de lisibilité de certaines offres. La 19^e filière labellisée par le Conseil national de l'industrie, « Solutions industrie du futur », sera peut-être une réponse à ce manque de lisibilité de l'offre française. Cette filière est présentée sur son site internet comme l'organisation qui « organise et coordonne les initiatives, projets et travaux collectifs, qui conduisent à transformer l'industrie en France en se modernisant grâce aux solutions et technologies de l'industrie du futur alliant le numérique²³ ». Elle regroupe les fournisseurs de solution français et reprend une partie du travail initié par l'Alliance pour l'industrie du futur²⁴.

Une autre explication du sous-investissement est la multiplication des acquisitions de PME et d'ETI par des grands groupes étrangers à partir du début des années 2000. Ces opérations se font à l'aide de *Leverage Buy-Out*²⁵ qui augmentent fortement la dette des entreprises, réduisant leur capacité d'investissement dans l'innovation et la modernisation des unités de production²⁶.

Il est primordial de comprendre que pour affronter les défis actuels, l'industrie française va être obligée de se moderniser et d'investir dans les usines. Or, cet effort est à conduire dans un contexte de mutations profondes de certains secteurs, comme l'automobile, qui va complexifier ce mouvement de transformation. En outre, les mutations vont également concerner le modèle économique des entreprises.

23. Voir l'introduction sur le site de la filière : www.solutionsindustriedufutur.org.

24. L'Alliance pour l'industrie du futur était une association loi 1901, créée en 2015 pour accompagner les entreprises françaises dans la modernisation de leurs outils industriels et la transformation de leurs modèles économiques avec les nouvelles technologies. En 2021, elle a évolué afin de porter la filière Solutions Industrie du Futur (S-I-F). Son but reste le même.

25. *Leverage Buy-Out* est une opération permettant le rachat d'une entreprise en ayant recours à beaucoup d'endettement.

26. N. Dufourcq, *La désindustrialisation de la France. 1995-2015*, op. cit., p. 49.

L'émergence d'un nouveau paradigme industriel avec l'évolution des modes de consommation ?

La renaissance industrielle de la France passe par un questionnement sur ce qu'est l'industrie et sur la stratégie à mettre en place pour atteindre les buts poursuivis avec la réindustrialisation. Elle induit également des débats sémantiques et des discussions dans le débat public alors que réindustrialisation et relocalisation ne sont pas antinomiques²⁷. L'ouverture de ce débat démontre l'évolution du regard sur l'intérêt d'avoir une base industrielle solide, sur la notion de souveraineté et l'émergence d'une nouvelle organisation industrielle à l'échelle mondiale.

Réindustrialiser ou relocaliser ?

La pandémie a illustré la vulnérabilité des chaînes de valeur mondiales et questionné la fragmentation des processus de production. Les chiffres mis en avant dans la presse pendant la crise ont marqué l'opinion publique et les décideurs : 80 % des principes actifs des médicaments sont produits en Chine et en Inde et 40 % des médicaments finis vendus en Europe proviennent de l'Inde ou de la Chine²⁸ par exemple. La balance commerciale de la France est particulièrement déficitaire avec la Chine (-32,3 milliards d'euros en 2019), l'Allemagne (-15,2 milliards d'euros en 2019) et les Pays-Bas (-7,7 milliards d'euros en 2019)²⁹. La dépendance de la production française à l'égard de l'offre chinoise a pratiquement été multipliée par 10 entre 1995 et 2014³⁰. Les mots « relocalisation » et « souveraineté » ne sont plus tabous : ils sont au contraire mis en avant comme un levier pour reprendre le contrôle.

Ainsi, pour répondre aux attentes de réindustrialisation, le gouvernement a mis en place différents dispositifs pour relocaliser ou développer des productions en France dans des secteurs jugés critiques. Dans le cadre du plan France Relance, il a été prévu un appel à projets, doté de

27. J. Delépine, « Faut-il croire aux relocalisations ? », *Alternatives Économiques*, 14 avril 2022.

28. « Pénurie de médicaments dans l'UE : les causes et les solutions », Parlement européen, 17 juillet 2020.

29. « Reconquête de l'appareil productif : la bataille du commerce extérieur », Note d'ouverture n° 10, Haut-Commissariat au Plan, 7 décembre 2021.

30. A. Reshef et G. Santoni, « Chaînes de valeur mondiales et dépendances de la production française », *Lettre du CEPII*, n° 409, CEPII, juin 2020.

100 millions d'euros, pour soutenir les investissements dans 5 secteurs jugés stratégiques : santé, électronique, agroalimentaire, intrants essentiels de l'industrie et 5G. Cet effort va être poursuivi avec le plan d'investissement « France 2030 ».

En parallèle de ces ambitions s'est engagée une querelle sémantique autour des termes « relocalisation », « localisation » et « réindustrialisation ». Si le débat peut paraître secondaire, il recèle en réalité des questions stratégiques. La relocalisation d'activités et la localisation de nouvelles activités industrielles en France sont partie intégrante de l'ambition de réindustrialisation. Ceci ne signifie pas que c'est un appel à relocaliser toutes les activités industrielles délocalisées, mais bien de déterminer, dans les chaînes de valeur, les activités clés à maîtriser sur le territoire national pour des raisons d'indépendance, de création de codépendance ou de maîtrise de la trajectoire environnementale de la France. Ainsi, définir une stratégie industrielle pour la France consiste à déterminer les domaines dans lesquels elle a des avantages comparatifs à préserver et renforcer, ceux qu'il faut développer pour des questions d'autonomie et de souveraineté, et ceux qu'il faut développer pour assurer l'autonomie du pays demain. Derrière l'idée de relocalisation se pose la question du choix de société puisqu'elle soulève des sujets autour de l'aménagement du territoire, de la capacité de concilier des objectifs qui peuvent sembler contradictoires comme la volonté de créer de nouveaux sites industriels et la zéro artificialisation nette des sols ou encore la typologie des sites implantés et leur intégration dans le territoire.

Les relocalisations seront très certainement un mouvement mineur dans le mouvement de réindustrialisation et les activités rapatriées bénéficieront probablement des évolutions techniques récentes et de l'automatisation des acteurs, créant en moyenne moins d'emplois par site que ce qui était en vigueur dans les années 1970-1980. Les opérations de relocalisation étaient un phénomène rare jusqu'à la crise sanitaire. Entre 2008 et 2018, les relocalisations d'activités ont été peu nombreuses³¹, mais marquées par quelques cas emblématiques comme les skis Rossignol ou les thés Kusmi Tea³². Depuis mars 2020, et sous l'effet des aides accordées dans le cadre du plan de relance, les opérations de relocalisation ont fortement augmenté³³. Les relocalisations annoncées concernent en premier lieu le domaine de la chimie, de l'électronique et de l'agroalimentaire. Toutefois, tous les secteurs sont concernés au regard des contraintes d'approvisionnement.

31. F. Bost, « Les relocalisations industrielles en France : épiphénomène ou tendance de fond ? », *Bulletin de l'association de géographes français*, 92-4, 2015, p. 480-494.

32. F. Raulin et F. Nadou, « La relocalisation industrielle en France : un retour vers le futur ? », *The Conversation*, 2 janvier 2018.

33. 550 projets de relocalisation sont soutenus dans le cadre de France Relance selon les chiffres mis à disposition par le gouvernement en septembre 2021.

Si la maîtrise des approvisionnements explique certaines opérations de relocalisation, le développement d'une approche en coûts global de possession³⁴ plutôt que d'un raisonnement limité aux seuls coûts d'acquisition des composants et des pièces joue également un rôle. L'augmentation des coûts du transport depuis le début de la pandémie (multiplication par six du prix d'un conteneur) favorise également ces phénomènes de relocalisation, tout comme la plus forte automatisation des sites de production. Parmi les exemples notables, il est possible de citer l'entreprise Auer, située à Feuquières-en-Vimeu (80), qui relocalise depuis la Serbie la production de cuves en acier émaillé, ou Wirquin, spécialiste des équipements sanitaires, qui investit dans son usine de Carquefou (44) pour relocaliser certaines productions de Chine, ou encore Aigle, qui relocalise sur son site d'Ingrandes (86) depuis l'Europe de l'Est et l'Asie sa production de bottes pour enfants. Pour que les opérations de relocalisation de produits finis soient une réussite, elles appellent souvent à repenser intégralement le produit (conception, matières utilisées, etc.) afin d'avoir des coûts de production similaires aux coûts asiatiques comme l'illustre l'exemple de l'entreprise Lunii, la boîte à histoires pour enfants³⁵. Toutefois, les motivations à la relocalisation peuvent varier d'une entreprise à l'autre (encadré n° 1).

Encadré n° 1 – Les motivations à la (re)localisation d'un projet industriel en France

Les (re)localisations peuvent prendre différentes formes :

- ▀ des entreprises qui décident de se doter d'un outil de production propre et de le localiser en France alors qu'elles avaient recours jusque-là à des sous-traitants localisés à l'étranger ;
- ▀ celles qui s'approvisionnaient à l'étranger et qui décident de faire évoluer leur stratégie d'approvisionnement en faveur d'approvisionnements en France ;
- ▀ celles qui produisaient à l'étranger dans leurs propres usines et qui font le choix de rapatrier tout ou partie de leur production en France dans des sites existants ou dans de nouveaux sites.

Ainsi, le rapatriement de production en France n'implique pas forcément la création d'un nouveau site, mais peut conduire à l'extension d'un site industriel existant ou le rachat d'un site industriel en reconversion.

Les motivations peuvent être variées. Voici quelques éléments souvent

34. Il s'agit du coût global d'un bien ou d'un service tout au long de son cycle de vie. Cette méthode permet de prendre en compte les coûts directs et les coûts indirects. Il s'agit par exemple les coûts induits comme les frais de transport, de douane ou d'emballage, des coûts d'acquisition, d'entretien, de maintenance, de retrait, etc.

35. Témoignage de l'entreprise Lunii exposé dans le cadre de la Hardware Night organisée par Kickmaker le 17 juin 2021.

mis en avant pour expliquer le choix de rapatrier une production en France :

▀ **Une meilleure maîtrise des coûts directs et indirects :**

- Les coûts de production dans les PECO ou en Asie sont moins attractifs (main-d'œuvre, transport, coûts cachés, etc.) ;
- Le rapprochement des lieux de production et de consommation permet une meilleure maîtrise du coût complet d'acquisition ;
- Le poids du besoin en fonds de roulement (BFR) est plus conséquent avec des stocks importants : rapprocher lieux de production et de consommation avec une production davantage « à la demande » doit permettre d'améliorer la gestion des stocks ;
- Une évolution de la demande qui devient plus sensible à l'origine du lieu de production.

▀ **Une meilleure maîtrise de la production et des délais :**

- Les délais importants de fabrication et de livraison des fournisseurs étrangers face à des clients qui :
 - Se sont habitués aux « standards Amazon » ;
 - Souhaitent des produits plus personnalisés.
- Une complexité du pilotage des fournisseurs à distance induisant :
 - Le besoin de sécuriser les approvisionnements ;
 - Des problèmes de qualité ;
 - Une gestion de la propriété intellectuelle confrontée à une appréciation culturelle du sujet ;
 - Une traçabilité difficile des productions et des fournisseurs de rang 2 et 3.
- Le besoin de rapprocher lieu de production et lieu d'innovation pour être plus efficient.

▀ **Une évolution de la stratégie de l'entreprise et de son positionnement induisant :**

- Une meilleure valorisation de la marque France ;
- La conviction que produire en France a du sens, notamment au nom de la responsabilité de l'entreprise ;
- La volonté d'améliorer l'impact environnemental de l'entreprise (décarbonation, choix matières, etc.) ;
- L'intégration de la production dans une logique d'économie circulaire, qui s'inscrit dans un système productif local.

Au regard du contexte, de plus en plus d'entreprises font le choix d'un approvisionnement de proximité. C'est le cas par exemple de l'entreprise Sidamo, située à la Chaussée Saint-Victor (41) et spécialisée dans la conception et la négociation d'outillage pour les professionnels du BTP, qui privilégie un *sourcing* auprès de fournisseurs français, voire régionaux en remplacement d'un approvisionnement en Asie. L'approvisionnement en

France est un levier pour réduire ses risques liés aux ruptures ou délais d'approvisionnement et améliorer le bilan carbone de l'entreprise. Les entreprises locales ont pu bénéficier de ce choix d'approvisionnement, notamment l'entreprise VDLI, spécialisée dans la plasturgie, qui va produire les croisillons utilisés pour réaliser les joints du carrelage. L'objectif de Sidamo est d'avoir 30 % de ses références produites en France en 2025 contre 10 % actuellement.

Le co-investissement dans des sites de production représente également une voie intéressante à explorer pour la réindustrialisation, mais les cas sont encore rares. Par exemple, Estelec, fabricant de cartes électroniques dans le Bas-Rhin et Thurconnect, fabricant des câbles et des faisceaux de raccordement, ont décidé d'investir dans une structure commune pour fabriquer des produits finis à la demande de certains de leurs clients pour sécuriser leurs approvisionnements³⁶. Le site rassemble une activité de câblage de cartes électroniques et des activités de plasturgie de conditionnement pour proposer des produits finis comme des capteurs, des équipements de mesure ou de contrôle à destination de clients industriels.

Une autre piste intéressante est celle de la création d'une plateforme qui permet de lier l'offre et la demande. À ce titre, l'exemple de Fabera constitue une piste intéressante. Fabera a développé une solution pour mettre en relation des sous-traitants industriels avec des clients. Cette proposition est clé dans une période où les industriels cherchent à s'approvisionner en France et où le tissu industriel français est mal connu. Fabera est une plateforme française de mise en relation d'entreprises et de fabrication à la demande de pièces industrielles en petite, moyenne et grande séries. Elle offre une flexibilité dans la production³⁷. Couplée à une offre de service disponible sur une plateforme numérique, elle répond aux besoins de très petites, petites et moyennes entreprises (TPE et PME) souhaitant sous-traiter la fabrication de leurs produits et ne sachant pas forcément vers quelle entreprise se tourner. La meilleure connaissance de la diversité de solutions offerte par les entreprises françaises est centrale dans la réindustrialisation.

Le débat sur la réindustrialisation se joue en parallèle d'une évolution des attentes des consommateurs sur les produits et les services associés aux produits, ce qui pousse inévitablement les entreprises à interroger leur modèle économique et sa pérennité.

36. C. Donas, « Deux industriels alsaciens s'allient pour relocaliser leur production », *Les Echos*, 15 mai 2020.

37. Entretien avec les deux fondateurs de Fabera réalisé le 27 avril 2022.

L'émergence d'un nouveau paradigme avec l'économie de la fonctionnalité ?

La continuité entre produits et services renvoie aux principes de l'économie de la fonctionnalité et de la coopération qui favorise un usage plutôt que la vente d'un produit ou d'un service. L'économie de la fonctionnalité et de la coopération est définie par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), comme « un modèle économique qui consiste à concevoir et à produire des solutions qui sont fondées sur l'intégration de biens et de services, associée à la vente d'une performance d'usage et/ou inscrite dans une dynamique territoriale³⁸ ». Elle appelle à un changement du modèle relationnel entre clients et fournisseurs puisqu'elle repose sur un système de contractualisation de long terme et une consommation sans être propriétaire du bien utilisé. L'entreprise va commercialiser une valeur servicielle, qui permet d'intégrer d'autres externalités (sociale, environnementale) dans le prix. Elle constitue une modification du modèle traditionnel de l'industrie qui repose sur la vente d'un bien et sur une recherche de massification des volumes produits pour réduire les coûts unitaires de production. Pour l'utilisateur, il s'agit d'une modification du rapport à l'usage des biens et à la propriété. Cette économie du partage se généralise avec la multiplication des plateformes de mise en relation entre particuliers qui mettent à disposition un bien en échange d'un prix de location. Par exemple, la plateforme OuiCar propose de mettre en relation des particuliers désireux de louer une voiture avec d'autres proposant leur voiture à la location.

Le mouvement vers le recours à des plateformes pour proposer des services ou louer temporairement des biens matériels a largement été pris par des start-up et des entreprises issues du monde du numérique. En revanche, le mouvement de ventes d'un service ou d'un usage sur le long terme par des entreprises industrielles reste encore minoritaire. Cette situation s'explique sûrement par la difficulté pour de nombreux acteurs industriels de se projeter dans ce modèle et par la maturité des marchés. Les grands groupes sont les premiers à avoir emprunté ce chemin avec notamment Safran-GE avec la facturation à l'heure de moteurs d'avion ou Michelin avec le forfait de kilomètres pour les pneus. Des entreprises naissantes ou des PME proposent également ce modèle en ne vendant plus leurs équipements, mais un service autour de celui-ci. Les capteurs placés sur certains produits donnent des informations sur leur utilisation, leur vieillissement, leur niveau d'usure etc. et offrent une possibilité de faire évoluer les prestations offertes aux clients (cf. infra). Les industriels du secteur de la machine-outil sont ceux qui peuvent opérer le plus facilement la bascule vers l'économie de la fonctionnalité avec un

38. « Développement durable des territoires : la voie de l'économie de la fonctionnalité et de la coopération », ADEME, janvier 2019.

système de location de long terme de leurs machines, associés à un contrat de maintenance et une offre d'amélioration des performances à l'usage.

Par ailleurs, tous les biens industriels n'offrent pas la possibilité d'embarquer des capteurs, mais toutes les entreprises semblent pouvoir profiter des évolutions promises par les nouvelles technologies pour offrir un service différent à leurs clients. Par exemple, les Fonderies de Sougland, créées en 1543, spécialiste de la fabrication de pièces techniques, peuvent offrir des prestations distinctes à ses clients en fonction des besoins exprimés :

- La conception géométrique de la pièce elle-même ;
- le choix des matériaux avec une infinité de nuances de métaux, levier fort de différenciation pour l'entreprise ;
- la production du moule et le choix du cycle de fonderie (chauffe, frappe, presse), savoir-faire rare et précieux ;
- la réalisation de la pièce elle-même.

Chacune de ces étapes est un service proposé, de manière conjuguée ou séparée des autres³⁹.

L'enjeu pour les industriels est d'arriver à saisir les attentes de leurs clients. Elles sont de nature différente entre le *b-to-b* et le *b-to-c*⁴⁰. Les entreprises vendant au consommateur final sont confrontées à des attentes de personnalisation, qui posent des défis à l'organisation industrielle. L'entreprise doit arriver à personnaliser ses produits tout en ayant des coûts de production qui restent maîtrisés et raisonnables pour le consommateur. Généralement, cela demande des investissements assez conséquents dans l'outil industriel, en particulier si celui-ci n'a pas été pensé dès sa conception pour assurer une production flexible en petites séries. À la production unitaire, il est aussi possible d'ajouter une réflexion sur une différenciation retardée. Cette technique de production permet de repousser le plus possible en aval la personnalisation des produits dans le cycle de production et d'avoir des tailles de lot plus important.

L'offre de services associés aux produits permet d'apporter une réponse à la polarisation de la consommation, entre *premium* et *low-cost*, sans nécessairement redévelopper entièrement de nouveaux produits ou des nouvelles lignes de production. Cette couche de services crée de la valeur pour les entreprises industrielles et est compatible avec le nécessaire effort de sobriété puisqu'elle constitue un levier de création de valeurs, tout en réduisant les volumes produits.

39. Exemple cité dans : A. Voy-Gillis et O. Lluansi, *Vers la renaissance industrielle*, Paris, Éditions Marie B., 2020.

40. Le terme de vente *b-to-b* décrit la vente « *business to business* », soit la vente entre entreprises ou entre professionnels. Le terme de vente *b-to-c* décrit quant à lui la vente « *business to consumer* », soit les ventes que réalisent les entreprises directement aux particuliers.

La transition vers l'économie de la fonctionnalité questionne sur son impact sur l'emploi et les risques de nouvelles destructions d'emplois industriels. Une certitude est que les emplois créés ne seront pas de la même nature et ne nécessiteront pas les mêmes compétences que les emplois en production. Ainsi, cette conversion est à accompagner et à anticiper pour limiter les effets négatifs sur l'emploi.

Au-delà de l'évolution des modes de consommation, la géographie de l'industrie va changer dans les années à venir : les pays membres de l'UE pourraient profiter de cette opportunité pour renforcer leur base industrielle.

Recomposition des chaînes de valeur, nouvelle organisation industrielle

La pandémie a été un accélérateur des transformations déjà en cours, avec la recomposition et la réorganisation des chaînes de valeur, ainsi qu'un rapprochement entre lieu de production et lieu de consommation. La nouvelle organisation mondiale de la production qui semble se dessiner laisse entrevoir trois types d'usines produisant à des échelles différentes.

Les méga-usines sont des sites de production à vocation mondiale, adaptés à la production de masse. Ces sites se localiseront au gré des facteurs de production (coût du travail, de l'énergie, des matières premières, du transport, etc.) avec l'inertie de ces grands investissements dont les marchés sont réglés par des cycles longs (10 à 20 ans minimum). Les Européens ont abandonné ce type de production sous pression de la concurrence mondiale. Ils entendent revenir dans la course dans le domaine de la production de semi-conducteurs avec le projet *EU Chips Act* annoncé par la Commission européenne en février 2022, et les annonces réalisées par Emmanuel Macron en juillet 2022 pour la France. L'UE souhaite à la fois renforcer les capacités de production en Europe et s'engager dans la bataille de la miniaturisation avec la volonté de produire des puces de 2 nanomètres (nm)⁴¹. Les États pourront augmenter les aides allouées en s'investissant dans un projet important d'intérêt européen commun (PIEC). Alors que la part de marché européenne était de 40 % dans les années 1990, elle est aujourd'hui de 10 %. Le semi-conducteur est un symbole de la mondialisation et de l'évolution de la géographie mondiale de la production. En effet, au regard des investissements nécessaires pour développer une nouvelle usine et de la course à la miniaturisation, nombreux ont été les fabricants à sortir d'une logique d'intégration

41. « EU Chips Act : le plan de l'Europe pour redevenir leader mondial des semi-conducteurs », Commission européenne, Déclaration du 8 février 2022.

verticale pour se concentrer sur la conception et à confier leur production à des fonderies comme le taïwanais TSMC. Certains, comme Intel ou Samsung, conservent des activités de production, mais sous-traitent également des productions à TSMC.

La France s'est également saisie du sujet à travers sa stratégie « Électronique 2030 », qui découle de « France 2030 », et va ainsi investir 16 milliards d'euros pour augmenter de 90 % la production de composants électroniques sur le territoire. Un investissement va également être effectué dans la recherche et le développement dans le but de développer des composants semi-conducteurs FD-SOI⁴².

Un point de vigilance demeure sur la nationalité des entreprises soutenues et qui s'implanteront sur le territoire. Dans le domaine du semi-conducteur, la France dispose d'acteurs performants comme STMicroelectronics et Soitec, tout comme il y a en Europe des entreprises qui maîtrisent des chaînons clés de la chaîne de valeur : le néerlandais ASML, le britannique ARM, etc. Des entreprises étrangères pourraient être tentées de profiter des généreuses enveloppes d'argent public pour s'implanter sur le continent, conditionnant leur ancrage sur le temps long à une récurrence des aides publiques.

Rappelons également que l'UE n'est pas la seule à avoir des ambitions en la matière. TSMC et Intel travaillent à l'augmentation des capacités des lignes de production (gallettes en 450 nm au lieu de 300 nm actuellement) ce qui permettrait un gain de productivité d'environ 30 %. D'autre part, TSMC et Samsung se sont lancés dans une bataille pour réduire encore la taille des semi-conducteurs (3 nm, voire 2 nm). TSMC a annoncé investir 100 milliards de dollars dans ses usines d'ici à 2024. Intel va également investir 20 milliards dans ses usines et sera appuyé par le gouvernement américain qui a annoncé investir 52 milliards de dollars dans cette industrie *via* son *Chips and Science Act*, adopté en juillet 2022. Samsung suit également cette voie. De son côté, la Chine recherche activement l'autonomie dans ce secteur, notamment pour se prémunir des sanctions américaines. L'industrie des semi-conducteurs est l'une des plus capitalistiques du monde et la stratégie actuelle présente le risque de consommer beaucoup de fonds publics sans permettre au continent de revenir dans la course⁴³, y compris pour la production des semi-conducteurs utilisés par les industriels européens.

Il revient également à l'UE de se prémunir de potentielles acquisitions étrangères en Europe et d'envisager des acquisitions. Le

42. Présentation de la stratégie Électronique 2030 par Emmanuel Macron, président de la République, le 12 juillet 2022. L'allocution peut être visionnée ici : www.elysee.fr.

43. N. F. Poitiers et P. Weil, « Fishing for Chips: Assessing the EU Chips Act », *Briefings de l'Ifri*, Ifri, 8 juillet 2022.

premier cas pourrait être le rachat d'entreprises comme ARM soit par un groupe européen, soit par le biais d'un fonds souverain européen. La deuxième chose est d'investir dans les capacités de production déjà présentes sur le territoire européen, tout en allouant des moyens conséquents à la recherche pour rattraper le retard technologique européen, en particulier pour satisfaire la consommation domestique. En outre, la renaissance d'une filière va se confronter au problème de la disponibilité des compétences, frein potentiel aux ambitions européennes. Chaque pays est entré dans une course pour se doter de nouvelles capacités de production pour assurer son indépendance, marquant une rupture avec la stratégie de concentration de la production et d'éclatement de la chaîne de valeur.

Les usines intermédiaires qui sont à vocation régionale organisées autour d'écosystèmes ultra-connectés et flexibles très variés qui permettront de réaliser des produits individualisés au coût de la grande série dans une vision idéale. En fonction des marchés, de la valeur ajoutée des biens et des coûts de transport, la notion de « régional » peut signifier « local » (30-50 km par exemple) ou quasiment-continental (800 à 1 000 km par exemple). L'enjeu pour la France est de transformer ces usines existantes vers un modèle plus automatisé et flexible. Toutefois, au regard des marges de manœuvre financières et opérationnelles des entreprises, le chemin sera long comme nous le verrons en partie 3.

Les usines modulaires ou micro-usines sont des unités de production miniaturisées qui peuvent être facilement déplacées et ont vocation à produire des biens pour le marché local en fonction des besoins. Elles produisent des biens de consommation sur mesure et directement sur le lieu de consommation ou à proximité directe. L'impression 3D ou la fabrication additive facilite considérablement ce modèle de production. Ces unités de production peuvent utiliser des technologies de pointe comme la robotique, la réalité augmentée, etc. Il s'agit soit d'unités mobiles installées dans des conteneurs faciles à déplacer, soit des unités fixes installées dans des bâtiments de petite taille. La capacité à concevoir et à installer ces micro-usines représente aussi une opportunité de développement pour la France.

L'Oréal travaille actuellement au développement de ce type d'unité avec son projet My Little Factory⁴⁴, les micro-usines de Local Motors aux États-Unis ou encore le projet porté par l'entreprise française Gazelle Tech.

44. Ces unités miniaturisées permettront de réaliser un fond de teint sur mesure, mais à grande échelle. Cette ligne offrira une palette de 22 000 couleurs de fonds de teint. Le prototype de cet équipement, en phase de finalisation à Shenzhen en Chine, doit être transféré d'ici à l'été dans une usine du groupe aux États-Unis.

Gazelle Tech, spécialisée dans la fabrication de voitures, est un exemple intéressant de micro-usine. L'entreprise met en avant le choix de préférer les *low tech*⁴⁵ aux produits *high tech*, notamment pour des considérations environnementales en réduisant le poids des véhicules et le nombre de ressources nécessaires pour produire le véhicule. Les micro-usines sont un levier pour développer des activités industrielles avec moins d'investissements au lancement de l'activité et la possibilité de créer des emplois industriels sur l'ensemble du territoire.

Enfin, les *fablab*, contraction de *fabrication laboratory* (laboratoire de fabrication), sont des tiers lieux adaptés pour des petites productions collaboratives et accélérer les démarches d'industrialisation. Il existe un réseau mondial de *fablab*, qui est un levier, grâce à la mise à disposition de machines-outils, pour permettre la réappropriation de l'industrie et son ancrage dans les territoires.

Au côté de l'évolution de l'organisation mondiale de la production se joue une évolution des métiers du transport et de la logistique. Non seulement la logistique est clé pour faire de la renaissance industrielle une réalité, mais elle est également en train d'évoluer pour offrir des activités de plus en plus industrielles à leurs clients : conditionnement, différenciation retardée d'articles standards sur leur lieu de stockage, etc. Les ruptures d'approvisionnement causées par la mise à l'arrêt de certaines usines chinoises ont montré la forte dépendance du monde à la logistique et la nécessité de l'intégrer dans la stratégie de réindustrialisation, surtout quand il est question de personnalisation de masse.

La personnalisation de masse des produits, levier de la réindustrialisation ?

Les consommateurs semblent être en recherche de produits personnalisés. Il s'agit du processus de personnalisation de masse qui revient à produire en continu des produits différents ou unitaires, permettant de personnaliser un produit ou un service afin de le rendre le plus unique possible dans les limites fixées par la production série. Aujourd'hui, peu d'usines dans le monde offrent cette possibilité, mais il existe des cas notables comme l'usine de Sélestat du groupe Salm (Cuisine Schmidt). La personnalisation de masse est un levier de différenciation qui demande aux entreprises de :

45. Les *low tech* se caractérisent par la mise en œuvre de technologies simples, peu onéreuses, accessibles et facilement réparables. Les entreprises qui font ce choix cherchent à utiliser des moyens localement disponibles. Elles sont proches du concept d'innovation frugale qui a pour but de répondre à des besoins déterminés par des solutions technologiques les moins sophistiquées et les moins coûteuses possible, sans pour autant faire de concession sur le niveau du service rendu.

- Définir les attributs du produit que le client souhaite pouvoir personnaliser ;
- Construire un site ou adapter la production existante pour rendre cette personnalisation possible ;
- Se doter des moyens de connaître les attentes des clients et développer des outils pour les aider à visualiser le produit qu'ils souhaitent obtenir.

Par exemple, le groupe Smurfit Kappa, fabricant d'emballage à base de papier, utilise la 3D avec ses clients au moment de la conception des produits. La visualisation permet aux clients de voir l'allure de l'emballage futur de leurs produits, le rendu dans les étalages, etc. L'utilisation de ces outils permet de réduire le temps de mise sur le marché. À cette fin, le groupe a également investi dans le développement de l'impression numérique qui permet aujourd'hui de réaliser principalement des petites séries et des grands formats.

La personnalisation de masse peut prendre différentes formes plus ou moins structurantes pour l'organisation de la production. Il peut s'agir d'un packaging personnalisé avec un message spécifique comme le proposent certaines marques de l'agroalimentaire dont Coca-Cola et ses étiquettes avec un prénom. D'autres marques proposent de pouvoir créer un assortiment de produits en fonction des préférences des clients. D'autres entreprises cherchent à formuler des produits en fonction des spécifications des clients comme le propose le groupe L'Oréal avec ses fonds de teints qui sont créés en fonction de la peau du client et fabriqués directement sur le lieu de vente. La dernière catégorie est celle de produits entièrement personnalisés en fonction des attentes du client en partant d'une très grande variété de possibilités offertes par l'entreprise.

L'impression additive ou impression 3D peut être une réponse à cette évolution des attentes de consommation et permettrait également de produire uniquement les produits nécessaires, limitant ainsi les stocks d'invendus. Il s'agirait d'un modèle qui permet à la fois d'occuper pleinement les lignes de production, tout en s'adaptant parfaitement à la demande client. Cette technologie permet aussi de réduire l'empreinte environnementale avec une réduction des rebuts et également de développer un modèle de production locale où seules les quantités nécessaires sont produites. Aujourd'hui, la fabrication additive sert principalement pour fabriquer les pièces de rechange nécessaires à des opérations de maintenance.

Ainsi, pour répondre aux évolutions des attentes des consommateurs, pour pivoter vers l'économie de la fonctionnalité et pour faire de la réindustrialisation une réalité, il convient d'avoir un outil industriel capable de répondre sur le plan de la qualité, des délais et du prix. Le numérique apporte des solutions pour ces transformations des usines et entreprises industrielles.

Le défi de la transformation numérique des usines et des entreprises industrielles

Le numérique présente un intérêt pour l'évolution des procédés et processus de production, ainsi qu'une solution pour mesurer et réduire les impacts environnementaux de la production. Néanmoins, il convient de définir ce qui est mis derrière le mot « numérique » dans le monde industriel et quelles sont les technologies qui peuvent bénéficier à la transformation des sites industriels.

L'industrie du futur : de quoi parle-t-on ?

La numérisation des usines renvoie aux notions d'industrie 4.0 et d'industrie du futur. La première est un concept allemand, popularisé en 2011 à la foire d'Hanovre. La seconde en est la traduction française, ayant donné lieu à un programme lancé en 2015 avec la constitution de l'Alliance pour l'Industrie du futur (AIF). La définition de l'industrie du futur est beaucoup moins claire que ne l'est celle de l'industrie 4.0, si bien que chaque acteur peut avoir la sienne. L'objectif est d'intégrer des technologies dans les usines françaises dans un but de modernisation des unités de production. En revanche, le programme allemand repose en premier lieu sur la capacité de développer des standards de communication entre les machines afin de les relier entre elles et d'aller vers une numérisation complète des usines.

En outre, les menaces et les réponses que doit apporter l'industrie 4.0 ont été plus clairement explicitées en Allemagne que pour le concept d'industrie du futur en France. Les deux programmes portent une philosophie et une vision différentes. En effet, le programme industrie 4.0 se développe à la suite d'un diagnostic réalisé par le ministre fédéral de l'Économie qui a mis en avant les risques et opportunités pour l'industrie allemande⁴⁶. Il pointe trois sujets d'inquiétude :

46. *In focus – Germany as a Competitive Industry Nation*, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, octobre 2016.

1. Le ralentissement de la croissance et de l'investissement dans les pays émergents, notamment la Chine, qui sont équipés avec des machines-outils allemandes ;
2. La remise en cause du leadership allemand avec la montée en puissance de pays producteurs de machines-outils comme la Chine ou la Corée du Sud ;
3. Des innovations principalement incrémentales rendant les entreprises allemandes vulnérables aux innovations de rupture.

L'Allemagne n'est pas le seul pays à s'être engagé dans la voie de l'industrie 4.0. Entre 2012 et 2015, une majorité de pays industrialisés ont entamé une démarche en développant des programmes propres avec des objectifs très différents (tableau n° 1). Il est intéressant de regarder la dynamique des autres pays pour comprendre les rapports de force qui peuvent en naître.

Tableau n° 1 : La diffusion de l'industrie 4.0 dans le monde à partir de 2010

Année	Pays	Nom du programme	Objectifs du programme
2010	Allemagne	Industrie 4.0	Développer les systèmes cyber physiques et bâtir des standards de communication entre les machines. Conserver le leadership industriel allemand.
2011	États-Unis	<i>Advanced Manufacturing Partnership 2.0</i>	Créer des emplois industriels hautement qualifiés et améliorer la compétitivité.
	Royaume-Uni	<i>Catapult centers</i>	Doubler la contribution de l'industrie au PIB.
2014	Belgique	<i>Intelligent factories clusters</i>	Soutenir le développement des usines du futur.
	Chine	<i>Made in China 2025</i>	Créer une nation industrielle forte avec une priorité sur la numérisation et la modernisation de 10 secteurs.

2015	Japon	<i>Robotics Strategy</i>	Augmenter la productivité de l'industrie de services, déployer la robotique d'ici 2020
	Corée du Sud	<i>Manufacturing Innovation 3.0</i>	Créer un écosystème fondé sur les nouvelles technologies et encourager le développement de Smart Factory
	France	Industrie du futur	Soutenir le développement de produits spécifiques
2016	Italie	<i>Fabbrica Intelligente</i>	Moderniser l'outil productif italien

L'Italie met en place son programme uniquement en 2016 sous l'impulsion de Matteo Renzi et le fonde principalement sur des mesures fiscales⁴⁷. Le but clairement affiché est d'engager un effort de profonde modernisation de l'outil productif italien. Au préalable, différentes régions s'étaient dotées d'un programme propre pour encourager la modernisation des usines. Les motivations derrière ces programmes nationaux sont différentes en fonction des risques identifiés par le pays et de ses ambitions industrielles.

Il existe également un débat autour de l'idée de troisième ou de quatrième révolution industrielle : pour certains, les changements en cours au sein de l'industrie s'inscrivent dans la continuité de la troisième révolution industrielle⁴⁸, quand d'autres y voient l'avènement d'une nouvelle révolution industrielle (tableau n° 2). Chaque révolution industrielle est marquée par des évolutions organisationnelles, technologiques et de la demande.

47. E. Grasland, « En Italie, l'industrie 4.0 se développera grâce à la fiscalité », *Les Echos*, 1^{er} novembre 2016, disponible sur : www.lesechos.fr.

48. J. Rifkin, *La Troisième Révolution Industrielle*, Paris, Les Liens qui Libèrent, 2012.

Tableau n° 2 – Les évolutions conjointes aux révolutions industrielles

Révolution	Évolution organisationnelle	Évolution technologique	Évolution des marchés et de la demande
1 ^{re}	Mécanisation	Machines à force hydraulique puis à vapeur	Développement des infrastructures
2 ^e	Taylorisme	Production de masse Développement de l'électricité Division du travail	Massification de la demande
3 ^e	<i>Lean Manufacturing</i> ⁴⁹	TIC Automatisation élargie de la production	Début de la personnalisation
4 ^e	Excellence opérationnelle	Virtualisation IoT Big Data 3D	Demande unitaire Services associés

Chaque révolution industrielle est marquée par des évolutions organisationnelles, technologiques et de la demande. Néanmoins, alors même que beaucoup d'entreprises n'ont pas entamé leur transformation numérique, la Commission européenne promeut le concept d'« industrie 5.0 » qui intégrerait d'autres objectifs que la productivité ou l'efficacité, comme le bien-être du travailleur, la durabilité et la résilience⁵⁰. Si les débats sémantiques ont leur importance, il convient de rappeler que l'enjeu est aussi de se doter d'une vision de long terme, d'objectifs et de moyens pour les atteindre.

L'industrie 4.0 est une vision portée par les acteurs publics et privés qui repose sur des convictions fortes sur la place de l'industrie dans l'économie allemande, le besoin de conserver le positionnement de l'Allemagne sur certains marchés et l'intérêt d'intégrer les opportunités

49. Le *lean manufacturing* est une méthode d'organisation d'optimisation de la performance industrielle qui vise à mieux respecter les exigences du client en matière de coût-qualité-délai.

50. « Industry 5.0, a transformative vision for Europe », *Brief*, n° 3, Commission européenne, janvier 2022.

offertes par les technologies de l'information dans les processus de production. Il s'intègre dans la représentation de l'Allemagne comme un « pays site de production »⁵¹. Le programme permettra de faire émerger des usines numériques pilotes. Il a été soutenu par Angela Merkel et est devenu une cause nationale. Le fait que les grands partis politiques allemands se soient entendus autour de cette question révèle à la fois l'importance de la question industrielle outre-Rhin, mais également la capacité des Allemands à trouver un consensus sur les enjeux de société. La vision d'une quatrième révolution industrielle fait également consensus entre l'ensemble des parties prenantes qu'il s'agisse des entreprises, de l'État ou encore des syndicats. À titre d'exemple, IG Metall, syndicat majeur outre-Rhin, participe aux réflexions sur l'industrie 4.0 et à la plateforme industrie 4.0. Il souhaite accompagner les évolutions tout en restant vigilant. Son site internet indique que :

« La numérisation changera fondamentalement le monde du travail. Ce que cela signifie pour le travail et l'emploi n'est pas encore certain. IG Metall veut concrétiser les opportunités et prend part à plateforme Industrie 4.0.⁵² »

Le syndicat estime qu'il est plus facile d'influencer les décisions en étant partie prenante de la plateforme et surtout que l'industrie 4.0 peut être un moyen de créer de nombreux emplois qualifiés et de réduire les tâches redondantes et peu qualifiées au sein des usines⁵³. L'union de l'ensemble des acteurs fait que la stratégie allemande sur l'industrie 4.0 reste unique au monde.

Cette vision de la place de l'industrie en Allemagne diverge de la vision française du rôle de l'industrie dans la société. En dehors de quelques responsables politiques très engagés sur le sujet comme Arnaud Montebourg, ancien ministre du Redressement productif, ou Olivier Marleix, député d'Eure-et-Loir et rapporteur de la Commission d'enquête sur la vente d'Alstom à General Electric, les voix prenant fait et cause pour l'industrie dans le monde politique étaient peu nombreuses jusqu'au début de la pandémie.

Il convient également de préciser que l'industrie 4.0 ne peut pas être réduite à la numérisation des usines d'hier. Le fait d'automatiser un site n'est pas si novateur puisque de bon nombre de ces technologies existent depuis plusieurs années, mais elles sont souvent restées cantonnées à un secteur spécifique ou ne sont pas arrivées pleinement à maturité. Par exemple, les constructeurs automobiles ont déjà largement automatisé leur

51. D. Kohler et J.D. Weisz, *Pour un nouveau regard sur le Mittelstand*, Paris, La Documentation Française, 2012.

52. « Den Wandel der Industriearbeit gestalten », IG Metall, 20 avril 2015, disponible sur : www.igmetall.de.

53. *Ibid.*

production et ont recours à la robotique et à la cobotique⁵⁴. Les sous-traitants de rang 2 et 3 ont moins généralisé le recours à ces technologies-là. La robotique est présente dans l'industrie depuis plus de 30 ans, l'enjeu est de généraliser leur usage en les intégrant dans les lignes existantes. D'autres technologies existent depuis plusieurs années, mais sont utilisées dans d'autres secteurs et commencent uniquement à être utilisées dans l'industrie. C'est par exemple le cas des exosquelettes biomécaniques qui sont utilisés à des fins militaires pour améliorer la performance de l'être humain et limiter les troubles musculo-squelettiques. Renault utilise des exosquelettes de la marque Exhauss dans certaines de ses usines⁵⁵. D'autres technologies ne sont pas arrivées à maturité et ne le seront pas avant plus de dix ans, comme l'impression 4D⁵⁶ ou les technologies quantiques.

Le fait qu'un site n'ait pas été totalement numérisé s'explique souvent par les coûts engendrés par ce type d'opérations qui plaident plutôt pour l'installation de briques technologiques ciblées en fonction des besoins, des moyens et des objectifs de l'entreprise. Ce type de grandes transformations, au-delà des coûts, demande du temps et un engagement fort des équipes. Une transformation îlot par îlot est plus facile à piloter pour une entreprise à la fois sur le plan coût, temps et adoption des transformations. En outre, la numérisation de bout en bout d'une entreprise industrielle induit un niveau de complexité supérieur dans les processus de production. Par exemple, au sein de l'usine du groupe Salm (Cuisines Schmidt) à Sélestat, le système de pilotage étudie à chaque instant les scénarios possibles et choisit celui qui lui permettra de satisfaire au mieux les conditions dictées par l'entreprise (productivité, qualité, coût, etc.). Ce pilotage n'est pas réalisé par l'homme seul, il est accompagné d'outils d'aide au pilotage. Finalement, l'usine de demain ressemblera, en termes de pilotage, à l'avion d'aujourd'hui. Ces usines seront en mesure de gérer un grand nombre de variantes, de se reconfigurer automatiquement pour changer de série dans des temps très courts, de s'adapter aux aléas en temps réel, de produire à l'unité, etc.

La marche à franchir pour atteindre cette transformation est encore haute pour de nombreuses entreprises industrielles, mais elle est nécessaire pour favoriser une réindustrialisation durable de la France. Plus précisément, le numérique va produire plusieurs types d'effets qu'il convient d'explicitier.

54. La cobotique est une branche de la robotique qui consiste à mettre en œuvre des robots collaboratifs. Le cobot vient accroître la performance de l'humain tout en le dégageant de ses tâches les plus pénibles, notamment celles nécessitant des efforts physiques importants et/ou répétitifs.

55. J. Thoin-Bousquié, « Les exosquelettes débarquent chez Renault », *L'Usine Nouvelle*, 3 novembre 2017.

56. L'impression 4D est la forme fonctionnelle de l'impression 3D. Elle permet d'imprimer des objets dynamiques qui répondent activement aux stimuli externes.

Les effets de la transformation numérique

L'industrie du futur et la transformation numérique des entreprises devraient produire quatre effets :

- ▀ Une évolution des attentes des clients ;
- ▀ des produits enrichis par le traitement facilité des données ;
- ▀ la mise en œuvre de nouvelles collaborations ;
- ▀ une évolution des modèles d'affaires.

Le premier effet porte sur l'évolution des attentes des consommateurs qui peuvent être redéfinies en expérience. Les producteurs tendent à redéfinir les attentes du client pour y inclure l'expérience du produit à l'image de l'entreprise : Apple ne vend plus uniquement la consommation d'un produit, mais son service après-vente, sa marque, les représentations autour de son image, etc. La force des entreprises tient à leur capacité à obtenir les données d'usage de leurs clients et à les utiliser pour affiner les produits en les ajustant de manière continue pour répondre au mieux à leur demande. Les données d'usage donnent presque en temps réel des informations sur les besoins et les comportements des consommateurs permettant de prendre des décisions marketing cruciales. L'essor de l'internet 2.0 pousse également les entreprises à plus de transparence. Les consommateurs peuvent voir sur internet les avis, comparer les produits, etc. Par conséquent, il est difficile pour les entreprises de fuir leurs responsabilités si un produit ou un service n'est pas performant, sauf dans le cas où elles sont dans une position de monopole.

Le deuxième effet est l'enrichissement des produits par les données. Ces dernières offrent une vision bien plus précise des besoins des clients que les traditionnelles activités de veille et les remontées du réseau commercial. L'objectif est de capter de nouvelles sources de valeur liées aux données d'usage, mais également de sauvegarder les actifs immatériels qui sont liés à la propriété intellectuelle et au savoir-faire. L'enjeu est également pour les entreprises d'arriver à préserver leurs marges opérationnelles. Les produits et les services sont enrichis de fonctions numériques qui accroissent leur valeur. Ainsi, l'entreprise américaine Tesla a développé des mises à jour et une connectivité par ondes hertziennes démontrant qu'un produit, en l'occurrence une voiture, peut être amélioré après achat au lieu d'être déprécié au fil du temps⁵⁷. Les nouveaux matériaux peuvent permettre aux biens d'équipement d'être plus durables grâce à une évolution du rôle de la

57. M. Valentin, *Le Modèle Tesla*, Paris, Dunod, 2018.

maintenance. Les capteurs placés sur les objets permettent un suivi permanent et une maintenance prédictive. L'utilisation des indicateurs de performance permet d'anticiper les pannes et d'optimiser les opérations de maintenance. Ainsi, sur un avion, les centres de contrôle connaissent avant les pilotes si l'appareil est défectueux et peuvent leur indiquer ce qu'ils ont à faire et mobiliser une équipe de maintenance à l'aéroport de destination. L'entreprise allemande SAP utilise les données des équipements agricoles pour améliorer leur temps de fonctionnement et leur utilisation⁵⁸. La capacité à prédire la performance d'un équipement permet la création de nouveaux business models comme la vente de services associés aux produits. Par exemple, pour les transporteurs, il devient plus intéressant de payer les fabricants de pneus comme Michelin par milliers de kilomètres parcourus plutôt que d'acheter périodiquement des pneus neufs. En combinant l'utilisation de capteurs et l'analyse des données, les fabricants de pneus peuvent suivre la performance des chauffeurs, la consommation de carburant et l'usure des pneus pour offrir un service complet. L'entreprise a ainsi vaincu une résistance au prix en remplaçant la vente du bien par la vente de l'usage du bien et elle l'a fait en ajoutant un service : gestion du cycle de vie, conseil et maintenance⁵⁹.

De surcroît, le numérique a fait apparaître de nouveaux entrants qui ont la capacité de mobiliser, voire de monopoliser, la relation avec les clients à travers la maîtrise des données. Le risque est que certaines entreprises deviennent de simples sous-traitants des acteurs du numérique en étant soumises à une très forte concurrence sur les prix. Les *pure players*⁶⁰ américains comme Google s'insèrent progressivement dans l'offre industrielle en développant une offre combinant produits et services. Par exemple, le développement de la voiture autonome chez Google est lié à la fois aux compétences et à l'histoire de Sebastian Thrun, fondateur de l'application Street View, et à l'idée que si un consommateur n'a plus les mains sur le volant, il a plus de temps libre pour utiliser un produit Google⁶¹. L'enjeu est de conserver le lien avec l'utilisateur pour anticiper ses besoins. Or, la

58. K. Schwab, *La quatrième révolution industrielle*, Paris, Dunod, 2017, p. 21.

59. « Michelin Solutions lance 4 services digitaux révolutionnant la gestion de flotte », communiqué de Presse, Michelin, 23 novembre 2017.

60. Un *pure player* est une déformation de l'anglais « *pure play* » qui désigne une entreprise exerçant dans un secteur d'activité unique. Elle s'est popularisée pour désigner les entreprises qui œuvrent uniquement dans le secteur du numérique et dont toute l'activité est sur internet. La Commission générale de terminologie et de néologie a publié, dans le *Journal Officiel* du 23 mars 2014, une traduction française de *pure player* en « tout en ligne ». Par extension, cette expression peut désigner une entreprise qui concentre ses activités sur un seul métier ou sur un seul secteur d'activité.

61. T. Simonite, « The Creator of Google's Self-Driving Car Now Competes with It », *MIT Technology Review*, 26 octobre 2016.

capacité de certains acteurs à capter et à analyser les données utilisateurs, mais surtout à les traduire en tendance de marchés, peut induire une désintermédiation avec les utilisateurs pour l'entreprise qui ne prévoit pas cette couche logicielle dans ses produits⁶².

Le troisième effet est la mise en œuvre de nouveaux partenariats. Les innovations et les ruptures se produisent à un rythme de plus en plus soutenu, ce qui pousse les entreprises à se questionner sur leurs collaborations et à sortir d'un fonctionnement individuel. Par exemple, les entreprises Siemens et Ayasdi⁶³ ont réalisé un partenariat qui permet à la première de résoudre des problèmes complexes liés à l'extraction d'informations dans un ensemble vaste de données. En même temps, ce partenariat permet également à Ayasdi de valider sa méthode d'analyse de données et de renforcer sa présence sur le marché. Les collaborations entre entreprises (ou entreprises et centres de recherche) ne vont pas toujours de soi, en particulier en France. Elles exigent de la part des deux parties : un investissement pour élaborer une stratégie, le développement des canaux de communication, l'alignement des méthodes de travail et la capacité de gérer avec souplesse les évolutions du partenariat. Il y a également un enjeu sur l'équilibre dans le partage des résultats et des gains éventuels. Les collaborations peuvent conduire à la naissance de nouveaux modèles d'affaires comme les systèmes d'autopartage en ville qui font travailler des entreprises de divers secteurs pour apporter aux clients un service nouveau et unique. L'évolution du modèle d'affaires va pousser les entreprises à sortir de la logique très française de filière, car de nombreuses innovations sollicitent des solutions croisées, incompatibles avec l'organisation classique en filières. Par exemple, le croisement entre l'électronique et la plasturgie a permis de produire des produits innovants à destination des activités médicales. Le groupe Sanofi s'est associé à Verily Life Sciences (filiale de Google) pour développer de nouvelles solutions combinant dispositifs médicaux, médicaments et logiciels. Le but de cette stratégie est d'avoir une intervention plus globale. L'enjeu n'est plus simplement de produire un produit (matériel ou médicament), mais d'y associer des services en proposant une offre plus large et complète aux clients. Dans le cadre de la réindustrialisation, la capacité à casser les frontières classiques des filières est clé. Elle reposera également sur la capacité des acteurs d'un même écosystème à collaborer.

Le quatrième effet de l'industrie 4.0 est l'évolution du modèle d'affaires. Les entreprises se trouvent poussées à repenser leur mode

62. K. Schwab, *La quatrième révolution industrielle*, op. cit., p. 158-160.

63. Ayasdi est une entreprise spécialisée dans l'apprentissage des machines fondée en 2009 à l'université de Stanford. Elle met en avant sur son site internet ses différentes collaborations avec des clients comme Siemens, Merck, Johnson & Johnson, etc.

opérateur et à adopter un mode de fonctionnement plus agile. La troisième révolution industrielle a permis l'émergence de plateformes purement numériques. La quatrième révolution favorise l'apparition de plateformes globales étroitement connectées avec le monde physique. La stratégie de plateforme est à la fois une source de profit et de rupture. Un rapport de 2016 du cabinet PwC a mis en avant que de nombreuses plateformes sont en premier lieu des capitalisations boursières avec au premier rang des entreprises comme Amazon, Alibaba, Facebook, etc.⁶⁴ Les plateformes numériques combinent la nécessité d'être centré sur le client et de valoriser le produit avec des données. Les consommateurs utilisent de plus en plus de services distribués *via* une plateforme numérique et questionnent par là même la définition de la propriété allant dans le sens de l'économie de la fonctionnalité et de la coopération.

Si les apports de la transformation numérique et de l'industrie du futur sont certains, il n'est pas toujours évident pour les industriels de se repérer entre des besoins parfois mal définis et une offre de solutions manquant de lisibilité.

Les briques technologiques de l'industrie du futur

Il existe de nombreuses illustrations des briques technologiques de l'industrie du futur, rendant ardu l'établissement d'une liste exhaustive. Ces technologies permettent d'atteindre différents buts, notamment de réaliser des gains de productivité. Chaque brique répond à un objectif différent. Par exemple, la réalité virtuelle permet à la fois de former les opérateurs et de faciliter les opérations de maintenance. La cobotique (voir encadré n° 2) permet de faire assurer par la machine les tâches répétitives et pénibles. Le *Manufacturing Executive System* (MES) facilite le suivi des performances des machines et des ateliers.

Nous proposons ci-dessous une liste de briques technologiques partiellement issue de l'ouvrage *Vers la renaissance industrielle*. Elle retient les principales technologies sans se vouloir exhaustive (encadré n° 2).

64. « Future of the sharing economy in Europe 2016 », Rapport, PwC, 2016.

Encadré n° 2 – Les briques technologiques au service de la transformation des usines

1. Robots, robots collaboratifs, VGA⁶⁵ et *smarts machines* : La cobotique, ou robotique collaborative, associe homme et machine. Le cobot est un robot collaboratif conçu pour travailler dans une zone commune avec l'opérateur. Il intègre des fonctions de sécurité (capteurs, caméras, etc.) permettant de limiter, voire de supprimer, la mise en place d'enceintes grillagées et de fluidifier l'interaction homme-robot. Ils permettent une automatisation des lignes de production, d'augmenter les performances ou encore de réaliser des tâches pénibles et/ou répétitives.

2. Internet des objets (IoT) et production de données : L'internet des objets est un système d'information qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication. Il permet par exemple de collecter des données pendant l'utilisation d'un produit afin d'apprendre quelles fonctionnalités sont utilisées et de découvrir les modalités des défaillances. Le développement de l'usage des données se fait en parallèle de l'augmentation des risques cyber pour les entreprises et donc du besoin pour elles de se prémunir de ces risques.

3. Big data et Intelligence Artificielle : Les Big Data (ou méga données) désignent la capacité à collecter, stocker et traiter en temps réel des flux très importants de données de nature diverse en vue de leur appliquer toutes sortes de traitements analytiques et statistiques avancés qui relèvent de l'intelligence artificielle (analyse prédictive, *machine learning*, *deep learning*, etc.). Avec les bons outils de traitement et d'analyse, ces données permettent d'optimiser la chaîne de production en identifiant de manière très fine les problèmes qui surviennent. Elles permettent également d'accroître la connaissance sur les habitudes et préférences des consommateurs. L'intelligence artificielle promet de nombreux cas d'usage autour des produits avec par exemple le développement des véhicules autonomes. L'analyse massive des données permet de travailler sur des prévisions comportementales pour améliorer les flux de production, logistique, etc.

4. Simulation avancée : La simulation 3D est une visualisation animée du comportement de produits, matériaux ou procédés. Elle s'étend à l'ensemble de la chaîne de production et permet de tester l'environnement de production avant sa mise en marche. Par exemple, avant même la conception d'une usine, le jumeau numérique permet de simuler son ergonomie, sa productivité et même sa consommation d'énergie. L'acquisition de données réelles permet ensuite d'affiner les modèles. Plus qu'une simple maquette, elle fournit une base de données dynamique qui permet de simuler différentes hypothèses, d'anticiper les incidents, de moduler la production pour changer par exemple la granulométrie d'un ciment, la qualité ou l'épaisseur d'une tôle ou de mieux éviter les défauts.

65. Véhicule à Guidage Automatique ou Automated Guided Vehicle transportent les marchandises de manière autonome.

5. Nouveaux procédés de fabrication : production additive/impression 3D, matériaux et processus innovants :

permet de fabriquer par ajout de matière, couche par couche, un objet physique à partir d'un objet numérique. L'impression 3D est déjà utilisée pour le prototypage rapide et, dans certains cas, est également une technique de fabrication industrielle en petite série. L'impression 3D permet un accroissement de performance (réduction du poids par ex.), de produire des pièces complexes ou de faciliter certaines opérations de maintenance.

6. Réalité augmentée et réalité virtuelle : la réalité augmentée est la superposition d'informations numériques sur un objet réel, obtenu par la vidéo-projection ou par l'intermédiaire d'un écran ou de lunettes. Elle permet, par exemple, une visualisation et une exploitation d'une maquette numérique, de faciliter la formation des opérateurs ou encore les opérations de maintenance. La réalité virtuelle est un environnement simulé créé par un ordinateur dans lequel l'utilisateur est immergé et avec lequel il peut interagir. Elle est utilisée aujourd'hui dans les phases de conception, de formation ou de test de fonctionnement d'un équipement.

7. Cloud (informatique en nuage) : Le *cloud* est un moyen de stockage en réseau et sécurisé de grandes quantités de données afin de les exploiter à un coût réduit. Les grandes entreprises du secteur informatique (GAFAM notamment) développent le *cloud computing* en investissant massivement pour proposer à leurs clients puissance de calcul et stockage massif d'information. Le développement du *edge computing* présente également un apport pour les industriels.

8. Le Manufacturing Executive System (MES) ou logiciel de pilotage de la production est un système de contrôle de gestion et de suivi des travaux en cours dans l'atelier. Il conserve la trace de toutes les informations de fabrication en temps réel, permet de recevoir des données en flux direct à partir des systèmes de contrôle/commande, de supervision machine et des opérateurs.

9. La maintenance prédictive est destinée à réduire la possibilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ou d'une machine.

10. La Blockchain : le stockage et la transmission d'informations transparentes et sécurisées permettent de garantir la traçabilité de composants ou d'opérations et d'augmenter la sécurité.

Les technologies 1 à 8 sont citées dans Vers la renaissance industrielle, ouvrage co-écrit avec Olivier Lluansi.

Des équipementiers de grande taille comme Schneider Electric ont déjà pris le tournant de l'industrie du futur. Mais de plus petits empruntent la même direction comme Norcan⁶⁶, une PME de Haguenau (Bas-Rhin) qui fabrique du mobilier industriel et qui commercialise depuis peu Sherpa, un charriot robotisé et connecté développé par la start-up Effidence. Ce chariot collaboratif est capable de suivre l'opérateur dans l'usine. Il a pour but de participer à la réduction de la pénibilité au travail ainsi que d'améliorer la productivité et l'agilité des opérateurs⁶⁷. Norcan estime que la modernisation des sites industriels en cours participe largement à l'augmentation de son chiffre d'affaires de 5 % par an depuis 3 ans. Sur les solutions de robotiques, il existe déjà des acteurs reconnus sur le marché et de taille mondiale comme l'entreprise allemande Kuka (passée en 2016 sous pavillon chinois⁶⁸) ou l'entreprise suisse ABB. Pour les solutions logicielles, notamment les *Enterprise Resource Planning* (ERP), il existe également des éditeurs mondiaux comme l'allemand SAP ou le suédois IFS. En revanche, les acteurs nationaux de taille inférieure ont une carte à jouer lorsqu'il s'agit de proposer des solutions logicielles innovantes de traitement de la donnée, d'optimisation de la maintenance, etc. Dans ce cas, il est courant de voir que des solutions nationales, voire locales, sont privilégiées. Par exemple, Faurecia à Caligny (Orme) a opté pour Digital Airways, du groupement de PME normandes Prod'eo⁶⁹, pour le développement de ces technologies de collecte et d'analyse des données de production. Les solutions ont été développées conjointement entre Faurecia et l'entreprise, ce qui permet de répondre à la demande croissante de sur-mesure, des solutions adaptées à leurs usages. Les entreprises qui vont préférer travailler avec des start-ups locales plus agiles sont de plus en plus nombreuses.

Sur chaque brique technologique, il est possible de trouver un chef de file, ainsi qu'un nuage de start-ups. Deux exemples illustreront ce propos : l'internet industriel et l'impression 3D. En matière d'internet industriel, Schneider Electric⁷⁰, concepteur historique d'automatismes industriels, se

66. Norcan est leader en France et parmi les premiers en Europe dans le domaine des solutions mécano-montées modulaires et sur mesure à base de profilés en aluminium. Le groupe produit plusieurs milliers d'applications par an et réalise un CA de 20 Mi€ avec plus de 130 collaborateurs en France et à l'étranger.

67. Informations présentées sur la plaquette de présentation du chariot Sherpa de Norcan, disponibles sur : <https://urlz.fr/8woZ>.

68. Il est à noter que Kuka a été racheté par le groupe chinois Midea en 2016. Ce rachat avait choqué en Allemagne et avait laissé craindre une perte de savoir-faire stratégique par le pays au profit de la Chine. Les robots Kuka étaient vus comme les « porte-étendards » de l'industrie 4.0. Voir à ce sujet : T. Madelin, « Kuka, l'OPA qui traumatise les Allemands », *Les Échos*, 30 septembre 2016.

69. E. Dardenne, « Innovation. Digital Airways veut inventer l'objet connecté local », *Ouest France*, 5 mars 2018.

70. Schneider est un groupe français, créé en 1871. Son chiffre d'affaires était de 24,7 milliards et un EBITDA* de 3,6 milliards d'euros en 2017. Lire le « Rapport annuel financier et développement durable », Document de référence, Schneider Electric, 2017.

pose en expert de la donnée industrielle et a pour ambition d'occuper une place prépondérante dans le domaine du logiciel industriel. Le passage à l'industrie du futur a fait évoluer le business du groupe avec une offre sur les logiciels depuis deux ans pour exploiter les données générées par les systèmes *hardware* du groupe. Le groupe a développé une plateforme baptisée *Ecostruxure*TM, système ouvert et interopérable, qui est capable de gérer les machines, de faire de la maintenance prédictive et d'optimiser les process⁷¹. Dans le but d'assurer sa transition vers ce nouveau business, Schneider Electric a poursuivi ses acquisitions dans le logiciel avec notamment l'achat de près de 60 % des parts de l'éditeur de logiciels britannique Aveva en septembre 2017⁷². Les logiciels des deux groupes sont entre autres utilisés par les industriels pour des opérations de maintenance et de suivi en temps réel de leurs productions. Schneider s'est également rapproché d'une cinquantaine de start-ups, spécialistes de logiciels de niches, notamment dans la *machine learning* et la cyber-sécurité.

En matière d'impression 3D, Prodways, filiale du groupe Gorgé, est le seul acteur du secteur français à s'être imposé sur le marché de l'impression 3D polymère face aux grands acteurs américains et allemands. Sa technologie *MovingLight*, qui liquéfie la résine couche par couche en utilisant une source de lumière de forte puissance à base de LED UV et de puces micro-électroniques DLP, a fait la différence. Elle permet de concevoir des imprimantes 3D plus précises et plus rapides. L'entreprise a également réalisé de multiples acquisitions d'entreprises spécialistes de la 3D comme Initial et ScientiFeet. Le groupe, installé au Mureaux (Yvelines) s'est imposé à l'international puisqu'il réalise près de 90 % des ventes à l'export. Son chiffre d'affaires de 34,8 millions d'euros en 2017 a été multiplié par 5 en 4 ans. Son objectif est de réaliser un chiffre d'affaires de 50 millions d'euros en 2018 et prévoit de lancer une technologie métal prochainement. À Strasbourg (Alsace), BeAM a développé une technologie, en cours d'industrialisation, qui permet de fabriquer, réparer et ajouter des fonctions⁷³. Elle a été adoptée par des grands groupes comme Safran, qui a investi dans l'entreprise, et Chromalloy⁷⁴. L'entreprise entend doubler son chiffre d'affaires entre 2017 et 2018 pour atteindre 12 millions d'euros. Pour chaque étude demandée par ses clients, BeAM procède à une caractérisation des matériaux et à un paramétrage spécifique des machines avant de lancer la fabrication d'un échantillon. Tous les paramètres de fabrication de l'échantillon sont déterminés sur un logiciel développé en interne. Une fois l'échantillon produit, il est découpé et analysé au microscope dans un laboratoire que BeAM a installé dans ses locaux. Entre

71. Informations consultées sur le site de Schneider Electric le 18 novembre 2018, disponibles sur : www.se.com.

72. « Logiciels : Schneider Electric va fusionner avec Aveva », *La Tribune*, 5 septembre 2017.

73. M. Protais, « Beam, la pépite de la 3D qui compte lever une dizaine de millions d'euros pour passer au stade industriel », *L'Usine Nouvelle*, 14 novembre 2017.

74. H. David, « Impression 3D : BeAM augmente son capital », *Les Échos*, 19 octobre 2017.

une journée et une semaine sont nécessaires selon le matériau avant de procéder à la fabrication de la pièce. L'entreprise 3DCeram, située à Limoges, vient de lancer une imprimante 3D hybride capable de produire des pièces céramique-métal⁷⁵.

Des start-ups se développent sur le marché français pour apporter des réponses concrètes à des problèmes très clairement identifiés. Par exemple, Siteflow, start-up créée en 2017, offre des solutions *cloud* pour faciliter la gestion des opérations terrain dans le secteur du nucléaire. Le point de départ était de limiter le recours au papier en utilisant une solution pour organiser les données et pour superviser les activités en temps.

Malgré la multitude d'entreprises françaises offrant des solutions spécifiques pour l'industrie, les acteurs américains dominent largement certains secteurs du marché, en particulier le *cloud* avec Amazon, mais aussi des acteurs chinois comme Huawei avec la 5G. La concurrence est très forte et les grands acteurs bénéficient d'une multitude de cas d'usage qui leurs permettent d'offrir des offres assez compétitives aux industriels alors que les fournisseurs français manquent souvent de cas d'usage pour convaincre leurs clients, faute de demande suffisante.

Toutefois, il faut garder un esprit critique quant à ces solutions technologiques car de nombreuses apparaissent souvent associées à des mots-clés comme « *big data* », « *plateforme cloud* », « *analytics* », etc. qui rendent compliqués la compréhension de ce qu'offrent réellement ces solutions. Par conséquent, les industriels sont dubitatifs sur le retour qu'ils peuvent en attendre. Cette situation s'explique également par le niveau d'information extrêmement faible sur les solutions de transformation numérique. Or les industriels ont besoin de données tangibles. La numérisation des usines n'est aujourd'hui plus un sujet nouveau. Dès lors, on peut s'interroger sur la maturité des acteurs industriels à ce sujet et l'avancement des transformations des unités de production. Il apparaît que la maturité, les besoins et l'intégration de ces solutions varient d'un secteur à l'autre et en fonction de la taille des entreprises. Si de nombreuses entreprises ont commencé à intégrer des briques à certaines étapes de la production, l'idée d'usines intégralement numérisées avec des machines toutes interconnectées est encore un cas rare.

Les PME et les entreprises de taille intermédiaire (ETI) ont ralenti les plans de transformation entre 2020 et 2021 puisque, selon une étude de June Partners, 41 % des entreprises ont entamé un plan de transformation en 2021 contre 47 % en 2020⁷⁶. Ces plans de transformation concernent principalement des sujets de réorganisation interne. Toutefois, les études centrées sur la transformation numérique des entreprises montrent des

75. N. César, « Limoges : 3DCeram, un leader mondial en devenir », *Sud Ouest*, 14 juin 2018.

76. M. Beffa, S. Chau et A. Broche, « Performance et transformation : les leviers 2021 des PME et ETI françaises », *June Partners*, 2022.

chiffres un peu différents. Ainsi, 75 % des PME⁷⁷ et des ETI⁷⁸ ont entamé une démarche autour de leur transformation numérique. Toutefois, cela peut recouvrir de nombreuses réalités différentes. Par exemple, sur les chantiers autour de la donnée, une étude du cabinet Wavestone⁷⁹ montre que :

- 44 % des industriels ont lancé des projets autour de la donnée en production et autour de la qualité ;
- 24 % ont des projets sur la donnée en logistique et *Supply Chain*, alors que c'est un sujet critique et souvent parent pauvre des plans de transformation des entreprises ;
- 26 % ont des projets autour de l'usage de la donnée pour les opérations de maintenance, où il y a également des gisements de gains opérationnels car beaucoup d'entreprises sont plus dans la maintenance curative que la maintenance prédictive.

Le sujet n'est pas l'existence de données dans les entreprises industrielles, mais la capacité à les collecter, les ordonner et les exploiter. Les projets autour de l'automatisation de la production (robots, cobots, VGA, etc.), la mise en œuvre de nouveaux procédés de fabrication et le développement de tablettes sur poste ne se développent pas autant qu'on pourrait l'espérer au regard de leur apport pour l'industrie. Les gains estimés sont de 15 à 20 % de productivité avec les outils permettant une meilleure gestion des stocks, un meilleur accès à la documentation techniques sur poste ou le suivi du matériel dans l'usine⁸⁰. Wavestone estime également que l'optimisation de la performance énergétique permet des gains de 20 à 30 %.

Cette situation peut s'expliquer par différentes raisons. En premier lieu, de nombreuses entreprises n'ont pas encore atteint un niveau de maturité des procédés industriels qui justifie le passage à l'industrie 4.0 et certains secteurs sont moins matures que d'autres sur le sujet. Le passage vers une automatisation très poussée des sites industriels nécessite une transformation profonde des usines et de leur organisation. Ainsi, avant de passer à l'industrie 4.0, il est nécessaire de maîtriser les principes du *lean manufacturing* et une organisation en flux tirés⁸¹. Ainsi, certaines entreprises n'ont pas les infrastructures adaptées pour supporter le changement. Ce type d'organisation induit des changements fréquents de format et de produit sur la ligne de production qui ont un impact sur la

77. I. Boughzala, « Baromètre IMT de la transformation digitale des entreprises », *Institut Mines Télécom*, avril 2021.

78. D. Pageaud et A. de L'Espinay, « Baromètre digital des ETI 2021 », EY, 1^{er} décembre 2021.

79. « L'industrie 4.0. À l'heure du plan de relance : espoirs ou désillusions », *Wavestone*, 2021.

80. « L'industrie 4.0. À l'heure du plan de relance : espoirs ou désillusions », *Wavestone, op. cit.*

81. La notion de flux tirés a été introduite par les Japonais avec l'idée de produire « juste à temps » en fonction de la demande des clients.

performance industrielle. Pour entamer une transformation de l'entreprise, il faut également avoir les fonds propres nécessaires pour investir dans la modernisation de son outil de production. À cet égard, le plan de relance de l'État français est venu redonner des marges de manœuvre aux entreprises industrielles. De la même manière, la constitution d'une filière réunissant les différents offreurs de solution français devrait faciliter l'identification des solutions existantes par les industriels.

La disponibilité des équipes pour conduire ces chantiers est également un prérequis. Dans beaucoup d'organisations les équipes sont saturées par la gestion du quotidien et peinent à trouver la ressource en temps pour s'engager dans ce type de projets. Le retour sur investissement et la durée de développement des projets sont également des freins au changement. Toutefois, le message essentiel à retenir est que les entreprises françaises, de la PME au grand groupe, entament des chantiers pour mener cette transformation. À ce titre, la donnée est sûrement le sujet qui intéresse en premier lieu les entreprises.

Les données, nouvel Eldorado de l'industrie ?

Alec Ross dans son ouvrage *Les industries du futur* considère que « les données sont les matières premières de l'âge de l'information », et même une matière première d'une importance stratégique pour les entreprises, notamment industrielles⁸². L'existence des données dans l'entreprise n'est pas une nouveauté. Elles ont toujours été présentes, mais n'ont pas forcément été collectées, analysées et utilisées pour améliorer les performances de l'entreprise ou développer un service. Le changement en cours vient de la capacité de stockage et de traitement en masse à des coûts acceptables. Les entreprises sont également plus sensibilisées à ce sujet à mesure que les cas d'usage se multiplient dans l'univers industriel. Dans un objectif de réindustrialisation, elles sont un levier clé l'amélioration des performances industrielles et la connaissance client.

La manière de stocker a considérablement évolué. Pour mémoire, en 2000, seulement 25 % des données étaient stockées sous un format numérique, alors que 94 % étaient stockées sous ce format en 2010. Aujourd'hui, elles sont presque toutes stockées de manière numérique pour le meilleur et le pire. Pour le meilleur car elles offrent un accès renouvelé à des informations capitales pour l'entreprise, pour le pire car le sentiment d'espace de stockage illimité conduit à conserver des données qui n'ont aucun intérêt pour l'entreprise. Autrement dit, les données sont pléthoriques, mais elles ne sont pas toujours pertinentes,

82. A. Ross, *Les industries du futur*, Limoges, FYP Editions, 2018, p. 201.

pas toujours bien exploitées et souvent polluées (erreurs de capture, de traitement, etc.). Cette situation oblige les entreprises à définir un critère de criticité des données à conserver et un nombre d'années où elles doivent être impérativement conservées.

Pour les industriels, la maîtrise des données représente un intérêt triple :

- Une meilleure maîtrise des processus avec une optimisation du flux de production et une réduction des pertes matières par exemple ;
- une meilleure connaissance des clients, des usages et du fonctionnement de leurs produits en condition réelle ;
- une possibilité d'associer une offre de services à leurs produits.

En termes de maintenance, les données permettent d'adapter les interventions en fonction de l'état des machines, ce qui permet de diminuer les coûts tout en augmentant leur fiabilité. Elles peuvent être enrichies avec les contraintes que subissent les machines et la connaissance des interventions passées. En termes d'optimisation des procédés et des équipements, elles facilitent l'identification des paramètres influents et la définition des conditions optimales. Les algorithmes permettent également d'anticiper le comportement de sa ligne de production en fonction de différents paramètres et donc de définir les paramètres pour toujours produire dans des conditions optimales. Si les fournisseurs de solutions américains proposent de nombreuses solutions, il existe également des entreprises françaises spécialisées sur un métier ou un secteur. Par exemple, l'entreprise Optimistik propose des solutions pour collecter et analyser les données de production et ainsi mieux maîtriser les paramètres influents de production. L'entreprise Vekia offre également des solutions pour optimiser les stocks et la *Supply Chain* en partant des données de l'entreprise.

Les données d'usage sont également un apport important pour les entreprises car elles offrent la possibilité d'améliorer les générations suivantes de produits, de fiabiliser les existants en identifiant certains défauts ou pannes récurrentes ou supprimer les fonctionnalités inutiles et onéreuses à développer par exemple. Elles offrent également une connaissance supplémentaire des clients et de leurs attentes permettant d'optimiser certains processus de développement.

Sans penser que les données sont la réponse à tout, elles offrent de nouvelles possibilités aux industriels. Par ailleurs, elles méritent que chacun se questionne sur leur apport, notamment pour les données d'usage car il y a un risque croissant que celui qui maîtrise la donnée soit celui qui maîtrise la relation client ou le processus industriel, risquant de reléguer certains industriels au rôle de simple fournisseur ou exécutant. L'usage de la donnée dans l'industrie fait également naître de nouveaux risques avec la multiplication des attaques cyber qui obligent les entreprises à identifier ces

risques et à apporter une réponse spécifique à chacun. Elle passe également par une formation et une prévention des équipes aux nouveaux risques.

Ainsi les opportunités offertes par le numérique sont nombreuses. Assurément, elles sont des solutions à étudier au cas par cas pour en faire des leviers d'amélioration des performances et *in fine*, un levier pour maintenir des activités de production en France. Elles sont également un levier pour réduire l'impact environnemental de l'industrie.

La transformation de l'industrie face aux défis environnementaux

En 2019, l'industrie manufacturière en France émettait 78 millions de tonnes de CO₂ eq, soit 18 % des émissions totales du pays. L'industrie est donc le 4^e poste d'émissions de gaz à effet de serre en France alors qu'elle était le premier poste en 1990 avec 26 % des émissions et 145 Mt CO₂ eq. Les émissions ont donc été réduites de 46 % entre 1990 et 2019.

La réduction des émissions est liée à des gains d'efficacité et l'évolution des procédés de certains industriels, mais aussi à la désindustrialisation. Par ailleurs, si le sujet de la décarbonation est aujourd'hui largement identifié par les industriels, le sujet environnemental est beaucoup plus large et appelle à des transformations beaucoup plus importantes que celles en cours.

Enfin le dernier enjeu est d'arriver à trouver un équilibre entre les ambitions environnementales nationales (stratégie nationale bas-carbone, zéro artificialisation nette, etc.), ainsi qu'européennes (*Green Deal*) et les ambitions de réindustrialisation. Autrement dit, comment concilier le besoin de « bifurquer » avec celui de renforcer l'autonomie stratégique ?

Lier réindustrialisation et question environnementale

La majorité des pays affiche aujourd'hui des ambitions renforcées en matière de lutte contre le réchauffement climatique, y compris la Chine⁸³. Elles sont souvent confrontées à des arbitrages liés à d'autres questions comme le pouvoir d'achat ou les contraintes géopolitiques comme l'illustre le cas de la guerre en Ukraine. En effet, devant les restrictions d'exportations de gaz russe, les membres de l'UE envisagent des alternatives à court terme fortement carbonées, en particulier de remettre en service des centrales à charbon⁸⁴ alors que cette énergie est extrêmement émettrice de CO₂. Ces annonces se produisent dans un contexte où l'effort à faire pour les pays est encore très important car la

83. A. Voy-Gillis, « La politique industrielle chinoise est-elle compatible avec ses ambitions environnementales », Groupe d'études géopolitiques, septembre 2021, p. 151-158.

84. K. Connolly, « Germany to Reactivate Coal Power Plants as Russia Curbs Gas Flow », *The Guardian*, 8 juillet 2022.

majorité des politiques publiques des pays engagés ne permet pas de respecter les objectifs fixés par l'accord de Paris⁸⁵.

La réindustrialisation, souvent motivée par un renforcement de l'autonomie de la France, semble donc antinomique avec les ambitions environnementales puisque produire plus sur le territoire revient à émettre plus sur le territoire. Pourtant, la réindustrialisation de la France est clé pour réduire son empreinte carbone comme l'illustre l'étude « Futurs énergétiques 2050 », produite par RTE⁸⁶. Pour rappel, l'empreinte carbone est constituée des émissions directes sur le territoire français (production de biens destinés à la consommation intérieure et émissions directe des ménages), ainsi que des émissions associées aux biens et services importés. En 2016, l'empreinte carbone s'établit à environ 663 millions de tonnes de CO₂eq⁸⁷ et les émissions associées aux importations représentent un peu plus de la moitié (54 %). Pour les émissions importées, il est possible de faire une segmentation entre :

- Les biens et les services importés et destinés à la demande finale intérieure (155 Mt CO₂ éq) ;
- les matières premières ou des produits semi-finis importés et consommés par l'appareil productif intérieur (203 Mt CO₂ éq)⁸⁸.

Si les émissions nationales ont baissé de 25 % entre 1995 et 2019, en raison notamment d'une nouvelle vague de désindustrialisation en France, la part liée aux importations a fortement augmenté (+72 %) sur la même période⁸⁹. Ainsi, depuis 1995, la part des émissions de la France a augmenté de 7 %. Toutefois, si on la rapporte au nombre d'habitants, elle diminue de 5 % entre 1995 (10,4 tCO₂ éq/personne) et 2019 (9,9 tCO₂ éq/personne). Notons que si l'empreinte carbone est composée aux deux tiers de CO₂, il ne faut pas oublier les 20 % d'émissions de méthane (CH₄) et les 6 % d'émissions de dioxyde d'azote (NO₂)⁹⁰.

Ainsi, la dépendance de la France aux importations rend l'atteinte de la neutralité carbone nationale tributaire des trajectoires d'émissions des pays qui exportent vers elle⁹¹. La France présente aujourd'hui une intensité carbone basse, ce qui lui donne un avantage compétitif pour toute production dépendante de l'électricité, en particulier pour les industries électro-intensives. RTE estime ainsi que si tous les biens manufacturés importés étaient produits en France, l'empreinte carbone diminuerait de

85. *Production Gap Report 2021*, Stockholm Environment Institute, UNEP, octobre 2021.

86. « Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 », Rapport, RTE, février 2022.

87. Équivalent CO₂.

88. Ministère de la Transition Écologique, « Estimation de l'empreinte carbone de 1995 à 2019 », 11 décembre 2020.

89. *Ibid.*

90. *Ibid.*

91. A. Voy-Gillis et G. de Temmerman, « Pourquoi la réindustrialisation est aussi une question climatique », *La Tribune*, 12 novembre 2021.

75 millions de tonnes de CO₂ eq. En prenant l'exemple du textile, 1 kg de textile produit en France a une empreinte carbone 2 fois plus faible que s'il était produit en Chine⁹². Relocaliser 25 % de la production de textiles achetés en France diminuerait l'empreinte carbone de 3,5 millions de tonnes de CO₂ eq par an. RTE estime également qu'une réindustrialisation forte permettrait, d'ici 2050, d'éviter l'émission de 900 millions de tonnes de CO₂ par rapport à un scénario sans changement majeur de la structure industrielle. Cette augmentation de la production industrielle en France s'appuie sur l'acquis d'un mix électrique déjà décarboné. Ainsi, la réindustrialisation est un levier pour diminuer l'empreinte carbone de la France qui doit s'accompagner d'une réduction des émissions carbone des industries nationales.

Néanmoins, pour une réelle efficacité, elle ne peut pas se limiter à la relocalisation des étapes d'assemblage, mais s'accompagne d'une réflexion plus globale sur les étapes en amont comme l'extraction et le raffinage de certaines matières premières, mais aussi en aval avec la distribution des produits et leur recyclage. Or, bien souvent cette variable de l'empreinte carbone à toutes les étapes de la chaîne de production est faiblement intégrée dans l'approche de décarbonation, car elle sous-entend d'avoir une réflexion plus globale sur la stratégie des entreprises, leurs logiques d'approvisionnements et les choix de matières, la conception du produit et la gestion de sa fin de vie. Autrement dit, la décarbonation de l'économie appelle à une réflexion à la fois sur l'ensemble de la chaîne de valeur d'un produit fini, mais également sur son cycle de vie. Pour se faire, la réindustrialisation est à penser selon une logique d'écosystèmes productifs territoriaux, seul moyen de recréer de vrais circuits courts.

La notion d'écosystème est clé dans la stratégie de réindustrialisation car la France importe aussi de nombreux produits semi-finis qui seront ensuite intégrés dans des produits assemblés en France. Or, la densification des systèmes productifs⁹³ locaux est nécessaire pour une réindustrialisation durable car ils permettront de garantir une demande aux usines françaises.

Enfin, si le débat se concentre aujourd'hui sur la décarbonation de l'économie, une vision plus large de la question environnementale permet d'intégrer dans les politiques de réindustrialisation l'impact des choix industriels sur la biodiversité, sur les milieux et les écosystèmes. Elle soulève également la question des choix et des modes de consommation puisque la surconsommation de produits manufacturés est également incompatible avec les objectifs environnementaux, de sorte que le modèle économique des entreprises fondé sur le principe de massification de la

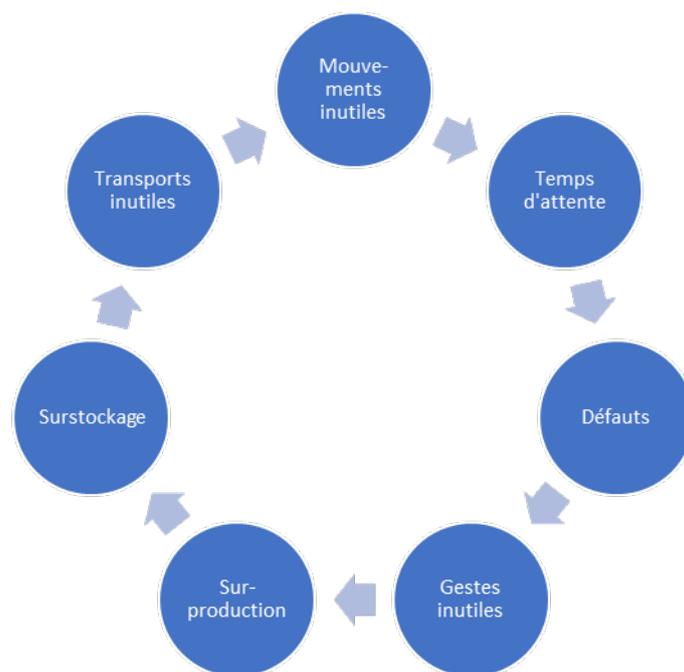
92. J. Payet, « Assessment of Carbon Footprint for the Textile Sector in France », *Sustainability*, 2021, 13, 2422.

93. Pour une étude sur l'évolution des systèmes productifs nous renvoyons à la lecture de l'ouvrage de François Bost. F. Bost, *La France : mutations des systèmes productifs*, Paris, Armand Colin, 2014.

production pour baisser les coûts unitaires de production est remis en cause par un impératif de sobriété dans la consommation. La surconsommation induit aussi des phénomènes de surstock et de gaspillage massif. Par exemple, les pertes matières et gaspillages alimentaires sont estimés à 10 millions de tonnes par an, soit une valeur commerciale de 16 milliards d'euros⁹⁴ et 3 % des émissions de nationales de gaz à effet de serre⁹⁵. Les pertes et gaspillages se font, selon l'ADEME, à toutes les étapes : 32 % en phase de production, 21 % en phase de transformation, 14 % en phase de distribution et 33 % en phase de consommation.

Dans toutes les industries, il est possible d'identifier des pertes matières aux étapes de production ou liés à des surstocks de produits qui ne seront pas vendus. Ainsi, revenir aux principes fondamentaux du *Toyota Production Systems* (TPS) en limitant les MUDA⁹⁶ (illustration n° 1) semble fondamental à la fois dans l'optique de gains économiques, mais aussi de réduction de l'empreinte environnementale de l'entreprise.

Illustration n° 1 – Les 7 gaspillages ou MUDA du Système de Production Toyota



Source : Toyota Production System

94. « État des lieux des masses de gaspillages alimentaires et de sa gestion aux différentes étapes de la chaîne alimentaire », ADEME, mai 2016.

95. G. Garot, « Rapport sur le gaspillage alimentaire », Assemblée nationale, novembre 2015.

96. Le mot vient du japonais et signifie « gâchis ».

L'enjeu pour les entreprises industrielles est d'identifier les pertes matières tout au long de la chaîne de production. D'un point de vue opérationnel, les leviers sont nombreux :

- ▀ Achats : Revoir la politique achat de l'entreprise, les règles de stock et l'emballage des matières. Ce dernier est à faire en lien avec les fournisseurs de l'entreprise.
- ▀ Stockage : Faire un suivi des dates de péremption et s'assurer que le premier produit entré est bien le premier sorti afin de limiter les mises au rebut.
- ▀ Production : Optimiser le procédé de production et revoir la conception du produit afin d'envisager une réduction des consommations de matière
- ▀ Distribution : Analyser les emballages utilisés pour réduire la matière utilisée
- ▀ Recyclage : Segmenter et recycler les déchets de l'entreprise

La gestion des déchets et du recyclage est également à poser à la fois dans une logique de recherche de souveraineté, mais aussi de tensions sur certaines matières premières critiques. La réglementation européenne sur les batteries va dans le sens de cette prise en compte du cycle de vie⁹⁷. Elle intègre :

- ▀ L'étape de l'extraction minière avec une vigilance sur l'origine des matières premières et l'intensité carbone ;
- ▀ l'étape de raffinage avec le contenu recyclé des batteries, des exigences sur les performances et la durabilité, ainsi que l'interdiction de certaines substances dangereuses comme le mercure ;
- ▀ le marché avec la promotion d'une industrie des batteries circulaires, un écolabel et des exigences sur l'étiquetage des batteries ;
- ▀ la fin de vie avec un système de collecte et des objectifs de recyclage.

Outre les mesures concrètes pour réduire les pertes matières pour les entreprises industrielles, il existe également de nombreuses pistes pour décarboner les productions.

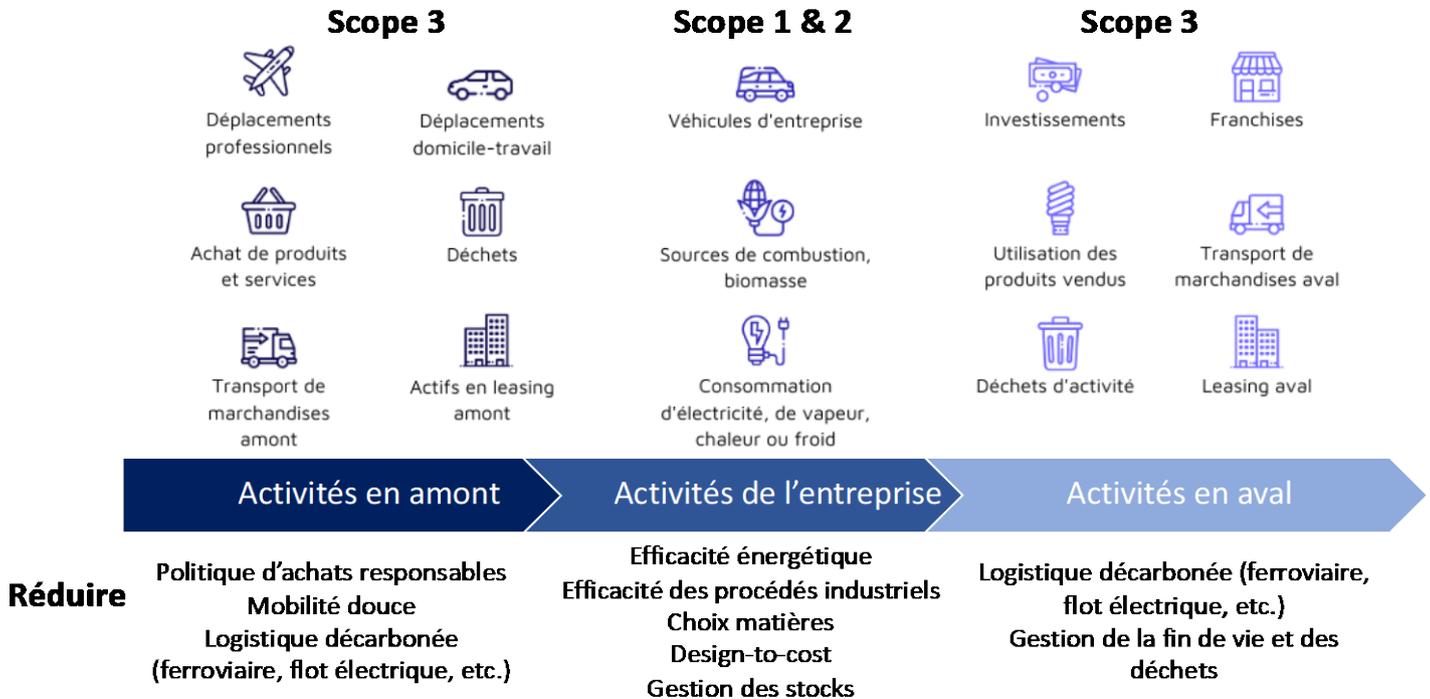
97. « Vers une chaîne de valeur européenne durable et circulaire pour les batteries », Infographie, Conseil de l'Union européenne, 2022.

L'enjeu de la décarbonation des productions et des usages

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, les industriels peuvent agir sur différents leviers. En premier lieu, il convient de savoir s'il est question des émissions directes de l'entreprise (scope 1) ou des émissions indirectes (scope 2 et 3). Les émissions directes sont liées aux équipements et aux installations de l'entreprise (fours, séchoirs, etc.) et les émissions liées au carburant consommé par les véhicules de l'entreprise. Une nuance est à apporter pour le sujet des transports logistiques. Ils sont dans le scope 1 pour les entreprises de la logistique, mais en scope 2 et 3 pour les entreprises qui ont recours à des entreprises tierces pour assurer leur logistique. L'ADEME a défini cinq catégories d'émissions directes : sources fixes de combustion, sources mobiles de combustion, procédés hors énergies, émissions fugitives et biomasse (sols et forêts). Pour les réduire, les industriels peuvent travailler sur la performance de leurs équipements et leur efficacité énergétique. Certains intrants peuvent être remplacés afin de réduire les émissions. Par exemple, il est possible de remplacer le gaz par de l'électricité bas-carbone.

Les émissions indirectes sont celles liées à la production des énergies utilisées par l'entreprise. Il s'agit du scope 2 qui comprend la production d'électricité, de vapeur, de chaleur, d'air comprimé, etc. Ces émissions indirectes dépendent donc grandement de la source d'énergie primaire (pétrole, gaz, charbon, biomasse, éolien, solaire, etc.) utilisée pour les produire. Enfin, le scope 3 concerne les émissions indirectes dans la chaîne de valeur et en dehors de l'énergie. Elle recouvre 15 catégories d'émissions et complexifie la construction du bilan environnemental de l'entreprise en raison de l'accessibilité des données. En amont, il s'agit des émissions des fournisseurs de l'entreprise qui comprend 8 catégories comme l'achat de produits et de service, le transport des marchandises, etc. En aval, les émissions considérées dans sept catégories sont liées à l'usage des produits et des services, ainsi que la gestion de leur fin de vie (illustration n° 2).

Illustration n° 2 – 3 scopes avec des actions concrètes à mettre en place



Source : Auteure

Pour réduire l'impact environnemental des activités, la mesure des externalités négatives sur l'ensemble du cycle de vie est clé. L'objectif est de réduire au maximum ces émissions dans un objectif de « 0 émission, 0 déchet ». Nombreuses sont les entreprises qui s'engagent dans cette voie de la décarbonation, notamment les plus grandes d'entre elles à travers le collectif « *Transform to Net Zero* ». Leurs déclarations sont très médiatisées, mais elles présentent rarement leurs projets pour atteindre leurs objectifs de manière détaillée. Ainsi, il est impératif de prendre garde à la facilité de certains discours sur la neutralité carbone⁹⁸. La neutralité carbone n'existe pas à l'échelle d'une entreprise⁹⁹, ainsi quand une entreprise dit être « neutre » cela signifie qu'elle compense ses émissions, mais pas forcément qu'elle les réduit. Cette clarification est nécessaire, au moins pour le consommateur qui pourrait être induit en erreur par des stratégies de « greenwashing ».

Un des enjeux pour les entreprises est la modernisation des sites industriels afin d'utiliser les dernières technologies qui offrent des gains

98.. Le GIEC la définit comme un équilibre entre les émissions et les absorptions de CO₂ à l'échelle du globe.

99. « Tous les acteurs doivent agir collectivement pour la neutralité carbone, mais aucun acteur ne devrait se revendiquer neutre en carbone », *AviS ADEME*, ADEME, 1^{er} avril 2021.

immédiats du point de vue de la réduction des émissions. Par exemple, l'amélioration de l'isolation des installations peut permettre de réaliser d'importantes économies d'énergie. Dans le domaine de la production d'acier et de ciment, deux productions industrielles très émettrices de CO₂, l'amélioration de l'isolation des installations industrielles peut permettre d'économiser 26 % de l'énergie utilisée, et de meilleures chaudières réduisent les besoins en énergie jusqu'à 10 %¹⁰⁰. Au regard de l'âge moyen du parc industriel français, la modernisation des sites apparaît comme un levier pour réduire les émissions.

L'évolution des procédés industriels est un levier pour réduire l'impact des activités. Les industries les plus fortement émettrices le sont notamment parce que toutes les étapes de leur production sont fortement émettrices : il revient donc de réfléchir étape par étape à des alternatives. Par exemple, pour la production d'acier, il est utilisé du coke, dérivé du charbon, qui alimente les hauts fourneaux, dans lesquels les minerais de fer sont réduits à très haute température. En brûlant, le coke émet du monoxyde de carbone qui réduit le minerai en fer et en CO₂. Le fer est ensuite transformé en acier dans un four souvent à charbon et plus rarement dans un four à arc électrique. Le processus émet environ 1 800 kilogrammes de CO₂ ou plus par tonne d'acier. Il existe aujourd'hui des alternatives qui n'utilisent pas de coke mais utilisent de l'hydrogène. Ce dernier doit être produit à partir d'électricité bas-carbone et à proximité pour représenter une alternative crédible¹⁰¹. Pour cela, il est nécessaire d'augmenter considérablement la production d'hydrogène bas-carbone dans le monde car 95 % de la production d'hydrogène mondiale est d'origine fossile¹⁰². Actuellement, la question des prix pousse à la recherche d'alternatives bas-carbone reposant sur l'électricité. Dans certaines industries, il est également possible de changer de combustibles en utilisant des déchets ménagers ou issus d'autres industries.

La réduction des émissions peut passer également par des solutions de capture et de stockage du CO₂¹⁰³. Toutefois, celles-ci font l'objet de critiques quant à leurs limites et ne sont pas vues comme des techniques viables sur le long terme puisqu'elles ne résolvent pas fondamentalement le problème et qu'elles n'induisent pas un changement de comportement en profondeur¹⁰⁴.

100. T.A. Napp, A. Gambhir, T.P. Hills, N. Florin et P.S Fennell, « A Review of the Technologies, Economics and Policy Instruments for Decarbonising Energy-Intensive Manufacturing Industries », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, 2014, p. 616-640.

101. B. Soltoff, « Green Steel Without Green Hydrogen — Can It Work? », *Canary Media*, 15 février 2022.

102. « La transition vers un hydrogène bas carbone », RTE, janvier 2020, p. 14.

103. P. García-Gutiérrez, « Carbon Capture and Utilisation Processes: a Techno-Economic Assessment of Synthetic Fuel Production from CO₂ », Université de Sheffield, septembre 2016.

104. P. Gauthier, « Méthodes et limites de la capture du carbone », *Energie et environnement*, 21 octobre 2018.

Le recyclage et le réemploi des matières premières est également un levier pour allonger la durée de vie de ces matières et surtout réduire l'emprise sur la nature. Toutefois, au regard de l'évolution de la demande sur certaines matières, cette solution n'est aujourd'hui pas satisfaisante. Elle l'est pour des matières déjà très utilisées comme l'acier ou le ciment où les ressources disponibles et à recycler sont plus nombreuses.

Enfin, la logistique présente également un poids important dans les émissions des entreprises. Le poids de la *Supply Chain* dans les émissions est très variable d'un secteur à l'autre, allant de 6 % pour la production de ciment à 61 % pour la chimie et 77 % pour l'électronique¹⁰⁵. Les transports représentent un quart des émissions totales de gaz à effet de serre de l'UE et 31 % des émissions nationales. Il s'agit du seul secteur à avoir augmenté ses émissions depuis 1995. Dans une optique de réindustrialisation, la décarbonation de ce secteur devient un sujet clé. Plusieurs leviers existent : efficacité énergétique, nouvelles motorisations, augmentation du taux d'occupation des véhicules ou encore développement d'alternatives au transport routier (ferroviaire, maritime, etc.). Ce secteur est très dépendant aux énergies fossiles et le développement de mobilité reposant sur l'électricité, l'hydrogène ou des biocarburants est crucial¹⁰⁶. Les solutions techniques sont à envisager selon la longueur des trajets, les besoins et les contraintes territoriales.

Afin d'accélérer la décarbonation de l'industrie, le gouvernement a prévu un dispositif dans le cadre du plan de relance. « France 2030 » permettra également des investissements dans la décarbonation des filières industrielles en facilitant l'émergence de technologies plus sobres. 5,6 milliards d'euros sur les 34 milliards de « France 2030 » seront consacrés à la réduction des émissions de CO₂ des secteurs de l'acier, de l'aluminium et la chimie. En outre, un accent particulier est mis sur les sites les plus émetteurs de CO₂. Par exemple, l'État accompagne Arcelor Mittal dans le remplacement de trois de ses hauts-fourneaux à charbon par des fours électriques et à hydrogène. Le coût de la transformation est estimé à 1,7 milliard d'euros et sera concentré sur les sites de Dunkerque et de Fos-sur-Mer¹⁰⁷.

105. « Net-Zero Challenge: The supply chain opportunity », *World Economic Forum*, janvier 2021.

106. D. Chuard et G. De Temmerman, « Transitioning away from fossil fuels », *Zenon Research*, 2021.

107. « Émissions de CO₂ : ArcelorMittal va remplacer en France trois de ses hauts-fourneaux à charbon par des fours électriques et à hydrogène », *Le Monde*, 4 février 2022.

L'approche systémique au service de la réponse environnementale

La lutte contre le réchauffement climatique ne veut pas dire qu'il faut arrêter d'innover, mais penser des innovations qui conduisent vers des solutions « zéro déchet, zéro émission ». Ainsi, il faut intégrer aux risques liés aux développements technologiques la mesure des impacts environnementaux.

L'enjeu pour l'industrie est de passer d'une approche linéaire à une approche circulaire. Les ressources sur lesquelles repose actuellement la croissance ne sont pas infinies et le modèle de production actuel a des impacts irréversibles sur l'environnement. La croissance de la population et l'évolution des usages vont augmenter la demande en énergie et en matières. Ce modèle tend à accroître la vulnérabilité des chaînes d'approvisionnement puisque des tensions se créent sur certaines ressources avec une volatilité forte sur les prix. Or, les industriels se retrouvent en situation de dépendance sur certains approvisionnements. Une étude de Nathalie Homobono et Denis Vignolles considère que 18 % des industriels maîtrisaient leurs chaînes d'approvisionnements, 50 % d'entre eux n'avaient pas la capacité de substituer des matières critiques en moins d'un an et plus de 40 % d'entre eux considéraient la variabilité des coûts des matières comme stratégique¹⁰⁸. À cette situation s'ajoute le fait que les entreprises chinoises sont leaders dans l'extraction et le raffinage de nombreuses matières premières critiques nécessaires à la transition énergétique (lithium, cobalt, germanium, etc.) voulue par la France et par l'UE à travers son *Green Deal*¹⁰⁹ comme évoqué dans la troisième partie. D'autres ressources nécessaires à l'industrie risquent également de manquer dans les années à venir, en particulier l'eau.

Les modes de consommation et de production actuels sont également destructeurs de la biodiversité. L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime que 420 millions d'hectares de forêt¹¹⁰ ont été perdus dans le monde du fait de la déforestation depuis 1990, dont la principale cause est l'agriculture. Il est estimé également que la consommation de l'UE représente environ 10 % de la déforestation mondiale¹¹¹. D'après WWF, la Méditerranée est en train de devenir un piège

108. N. Homobono et D. Vignolles, « Analyse de la vulnérabilité d'approvisionnement en matières premières des entreprises françaises », *Conseil de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies*, mars 2019.

109. Rapport de l'initiative européenne sur les matières premières critiques remis en septembre 2020.

110. « Global Forest Resources Assessment 2020 », Rapport, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2020.

111. « State of the World's Forests 2016. Forests and Agriculture: Land-Use Challenges and Opportunities », Rapport, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2016.

de plastiques avec des niveaux records de microplastiques qui menacent les espèces marines et notre santé, plastiques issus de l'industrie et des modes de consommation. Une majorité des plastiques ne sont utilisés qu'une seule fois avant de se transformer en déchets et seulement 9 % des plastiques sont recyclés¹¹².

L'objectif de l'économie circulaire est de parvenir à découpler la croissance économique de l'épuisement des ressources naturelles. Les possibilités qui s'offrent aux industriels sont multiples. Elle passe à la fois par un travail sur la matière pour optimiser les possibilités de réemploi et de recyclage, mais aussi par le produit et sa conception où il est possible à la fois de travailler sur sa conception (écoconception, réparabilité), sa durée de vie (pas d'obsolescence programmée) et la gestion de sa vie (recyclage). Au moment de la production, les rebus et déchets ne sont plus pensés comme des conséquences normales de la production : l'entreprise va chercher à les réutiliser ou à les confier à une autre entreprise qui saura les valoriser.

L'augmentation de la durée de vie d'un produit demande souvent une démarche d'écoconception avec l'intégration de l'axe « réparabilité » dans les spécifications du produit. Par exemple, le groupe SEB a développé une offre autour de la réparabilité en offrant à ses clients des services de réparation à proximité et en conservant un stock de pièces de rechange pendant 8 à 10 ans. L'impression additive permet d'offrir des pièces de rechange, y compris pour de l'électroménager qui n'est plus fabriqué, sans que le stock à conserver soit trop important pour l'entreprise. Des entreprises peuvent également se positionner sur le marché du « *remanufacturing*¹¹³ », en remettant à neuf certains de leurs produits pour les remettre sur le marché. Les prix d'achat de ces biens sont en général plus bas que ceux d'un produit neuf. Par exemple, l'entreprise CEV propose des onduleurs électriques remis à neufs. Son modèle repose sur une logistique inversée et un atelier de réparation qui assure la rénovation d'anciennes gammes d'onduleurs électriques.

L'économie circulaire doit induire une approche systémique. Tout comme pour le sujet de la décarbonation, il ne s'agit pas de regarder uniquement l'usine, mais d'adopter une vision plus large sur l'ensemble de la chaîne de valeur. En général, les impacts majeurs reposent à d'autres étapes qu'à l'étape de production, en particulier les étapes d'extraction des matières premières.

Cette approche s'inscrit dans une démarche d'économie locale avec la construction de chaînes de valeur et d'écosystèmes locaux, clés pour une

112. E. Alessi, *Pollution plastique en Méditerranée. Sortons du piège !*, WWF, 2018.

113. Processus industriel consistant à remettre un produit usagé (en panne, en fin de vie, obsolète ou à l'état de déchet) dans un état, un niveau de performance et des conditions de garanties identiques ou supérieures à son état d'origine.

réindustrialisation de long terme. Elles utilisent également toutes les potentialités offertes par les nouvelles technologies évoquées en partie 3 : traçabilité des produits, utilisation des données pour proposer un service autour du produit, notamment de maintenance, matériaux innovants, etc.

Le *design-to-cost* peut être mis au service du besoin de transformation de l'industrie à la condition que l'aspect environnemental soit intégré dans l'approche. Repenser le design des produits est essentiel à la condition d'intégrer dans la réflexion :

- Le choix des matériaux : matériaux bio-sourcés, recyclés ou gérés durablement, réduction de la dépendance à certaines matières premières critiques, etc.
- La fonctionnalité des produits : penser des produits pour la vente d'un usage plutôt que d'un produit, intégrer des contraintes environnementales dans les spécifications.
- Leur durabilité : simplification du produit pour favoriser sa réparation, conception afin de faciliter son recyclage en fin de vie, etc.
- La consommation des ressources nécessaires à leur production.

Cette approche permet également de travailler sur l'origine des produits et donc sur la sécurisation des approvisionnements, la réduction de l'empreinte matière et énergie sur l'ensemble de la chaîne de valeur puisqu'elle fait l'objet d'une évaluation, etc.

Si l'économie circulaire est un principe qui commence à être intégré dans les approches industrielles, le chemin vers l'adoption est encore long et complexe. Ainsi, selon une étude de l'INEC et d'Opéo, 86 % des industriels voient l'économie circulaire comme une opportunité, mais seulement 36 % l'ont intégré dans leur stratégie¹¹⁴.

114. « Pivoter vers l'industrie circulaire », Étude, Institut national de l'économie circulaire, Opéo, avril 2021.

Conclusion :

choisir dans un contexte géopolitique incertain

La réindustrialisation de la France est possible, mais à la condition d'une transformation profonde de l'industrie pour s'adapter aux évolutions de la demande et pour être compétitif face aux autres nations industrielles. Les sites industriels français sont vieillissants et faiblement automatisés, bien qu'il existe aujourd'hui de nombreuses nouvelles technologies pouvant redonner un peu de souplesse dans la production, améliorer les performances et optimiser la gestion de la production. La transformation numérique est à penser à la fois sur le plan opérationnel et sur le plan du modèle économique. Si l'effort à faire est important, l'industrie française dispose de tous les moyens pour opérer cette transformation. En outre, il existe un dense écosystème de fournisseurs de solutions qui pourront apporter des réponses sur-mesure aux entreprises.

L'autre enjeu clé pour les industriels est d'intégrer la question environnementale dans leur approche. L'environnement n'est plus une variable : pour respecter les accords de Paris, il est nécessaire que chacun s'engage dans l'effort de décarbonation, même si la majorité des émissions est concentrée sur quelques unités de production. En outre, la question nécessite une approche systémique et d'intégrer des sujets bien plus larges que les seuls gaz à effet de serre. Cette volonté de réindustrialiser peut entrer en compétition avec d'autres ambitions, notamment environnementales, et oblige à penser de manière conjointe politiques environnementales et industrielles afin de ne pas produire des politiques antinomiques.

Nous ne l'avons pas abordé ici, mais d'autres questions sont soulevées autour de l'aménagement du territoire, du design des sites et de leur intégration dans l'environnement. Ces sujets sont clés aussi pour des questions d'acceptabilité des usines. Ainsi, penser la réindustrialisation nécessite de casser les silos en allant chercher d'autres profils que ceux rencontrés traditionnellement dans l'industrie. Pour penser une stratégie efficace de réindustrialisation, il semble utile d'intégrer des designers, des architectes ou encore des scénaristes dans les réflexions.

Par ailleurs, la France est loin d'être la seule nation à vouloir emprunter le chemin de la réindustrialisation. Certaines puissances, comme la Chine, la Corée ou l'Allemagne, ambitionnent de renforcer leur base industrielle, d'autres comme les États-Unis de se réindustrialiser en

mettant des moyens publics et privés conséquents sur la table. Certains secteurs comme la microélectronique, l'hydrogène ou les mobilités futures vont faire l'objet d'une compétition mondiale sans relâche dans un contexte de montée d'un nationalisme des ressources. La stratégie de réindustrialisation française doit donc aussi intégrer le comportement des autres nations en termes de spécialisation, de contrôle des approvisionnements et de contrôle des marchés nationaux. Ces stratégies auront un effet sur la demande, notamment sur les matières premières critiques, et pourraient induire des tensions géopolitiques qui sont trop souvent minimisées dans les stratégies française et européenne. La volonté de réindustrialiser se joue dans un contexte de remise en cause du multilatéralisme et de remise en cause de la démocratie. Les politiques industrielles ne peuvent pas être pensées en dehors de ce contexte général.

Enfin, la crise énergétique actuelle pourrait constituer un frein majeur à la réindustrialisation car elle va avoir un impact considérable sur la compétitivité des entreprises industrielles françaises. Cette situation est d'autant plus critique que la France mise sur l'électrification des productions et des usages pour contribuer à l'atteinte de son objectif de neutralité carbone d'ici à 2050. Toutefois, si cette crise va être difficile pour les industriels, elle peut également être vue comme une opportunité d'accélérer la transition énergétique.

Pour que la renaissance industrielle soit durable, elle nécessite que l'ensemble des acteurs s'empare du sujet, en particulier les industriels qui sont confrontés à des sujets de compétitivité coûts et hors coûts. Les transformations nécessaires sont profondes et concerneront autant les procédés industriels que les modèles économiques. Les localisations ou relocalisations sur le territoire devront également être pensées au regard de ces transformations et partir des meilleures technologies et techniques en cours pour réduire l'empreinte des entreprises, tout en leur permettant d'être compétitives. Réindustrialiser prendra du temps et deviendra une réalité à l'unique condition qu'elle soit une ambition collective et non l'ambition de quelques-uns.



27 rue de la Procession 75740 Paris cedex 15 – France

Ifri.org