



ÉTUDES ÉCONOMIQUES

PROSPECTIVE

Industrie du futur - Secteurs de la chimie et du papier-carton :
amélioration des outils de production et apport du numérique

Rapport final

Date de parution : mars 2019
Couverture : Hélène Allias-Denis, Brigitte Baroin
Édition : Martine Automme, Nicole Merle-Lamoot

ISBN : 978-2-11-152635-8
ISSN : 2491-0058

**L'industrie du futur - Secteurs de la chimie et du papier-carton :
amélioration des outils de production et apport
du numérique**



Rapport final

Le Pôle interministériel de Prospective et d'Anticipation des Mutations économiques (Pipame) a été créé en 2005. Son objectif est d'éclairer, à un horizon de cinq à dix ans, les mutations qui transforment les principaux secteurs économiques.

La mondialisation transforme les entreprises et les pousse à s'adapter à une concurrence accrue sur des marchés plus diversifiés et lointains. Le numérique, avec l'essor de la robotique, de l'intelligence artificielle, des objets connectés, etc. transforme les entreprises tant dans le secteur de l'industrie que dans celui des services.

Dans ce contexte, le PIPAME apporte aux acteurs publics et privés des éléments d'alerte et de compréhension de ces mutations. Il propose des préconisations d'actions à court, moyen et long terme, afin d'accroître la compétitivité des entreprises françaises. Le Pôle aide les professionnels et les pouvoirs publics dans leur prise de décision.

Le secrétariat général du Pipame est assuré par la sous-direction de la Prospective, des Études et de l'Évaluation Économiques (P3E) de la direction générale des Entreprises (DGE).

Les départements ministériels participant au Pipame sont :

- le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation,
- le ministère des Armées,
- le ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les Collectivités territoriales,
- le ministère de la Culture,
- le ministère de l'Économie et des Finances,
- le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation,
- le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères,
- le ministère de l'Intérieur,
- le ministère des Solidarités et de la Santé,
- le ministère des Sports,
- le ministère de la Transition écologique et solidaire,
- le ministère du Travail.

Avertissement

La méthodologie utilisée dans cette étude ainsi que les résultats obtenus relèvent de la seule responsabilité du prestataire ayant réalisé cette mission, le cabinet Ernst & Young Advisory. Ils n'engagent ni le PIPAME, ni la Direction générale des entreprises (DGE), ni France Chimie, ni l'Union française des Industries des Cartons, Papiers et Celluloses (Copacel). Les parties intéressées sont invitées, le cas échéant, à faire part de leurs commentaires à la DGE.

MEMBRES DU COMITÉ DE PILOTAGE

Christophe MEILHAC	DGE, bureau de l'Information économique et de la Prospective
Ange MUCCHIELLI	DGE, bureau de l'Information économique et de la Prospective
Marc RICO	DGE, bureau de la Chimie et des Biotechnologies
Mathieu SANTUNE	DGE, bureau de la Chimie et des Biotechnologies
Jean-Louis GERSTENMAYER	DGE, bureau de la Chimie et des Biotechnologies, bureau des Matériaux
Mouna TATOU	DGE, bureau des Matériaux
Arnaud LASSERRE	DGEFP
Didier LE VELY	France Chimie
Xavier GUILLON	France Chimie
Paul-Antoine LACOUR	Copacel
Sylvain LE NET	Copacel
François MONNET	Association Chimie du Végétal

La conduite des entretiens et la rédaction du présent rapport ont été réalisées par le cabinet de conseil :

EY

Tour First, 1 place des Saisons
92400 Courbevoie, France
Tél. : 01 46 93 64 00
www.ey.com/fr/advisory

Consultants :

Olivier LLUANSI, EY, associé Industrie du Futur ;
Stéphane LOUBERE, EY, directeur associé Industrie du Futur ;
César PENCIOLELLI, EY, consultant Senior Industrie du Futur ;
avec le support du Dr. Christian GIRARD, maître de conférences à Chimie ParisTech.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes ayant contribué directement ou indirectement à la réalisation de cette étude.

Nous remercions tout particulièrement la quarantaine d'entreprises interrogées, industriels des deux secteurs, offreurs de solutions et organismes techniques ou de formation, pour le temps qu'ils nous ont accordé.

Nous remercions les fédérations professionnelles, France Chimie et Copacel, pour leur contribution et la mise en relation avec des acteurs industriels.

Enfin, nous remercions les membres du comité de pilotage (DGE, DGEFP, France Chimie, Copacel et ACDV).

SOMMAIRE

SOMMAIRE	9
INTRODUCTION	11
PRÉSENTATION DES SECTEURS DE LA CHIMIE ET DU PAPIER-CARTON : LES PERSPECTIVES MONDIALES ET L'EXEMPLE DE LA FRANCE	13
Perspectives mondiales	13
Situation de la France	16
IDENTIFICATION DES SOLUTIONS PERTINENTES POUR LES SECTEURS DE LA CHIMIE ET DU PAPIER-CARTON	20
Identification et pertinence des enjeux des secteurs de la chimie et du papier-carton : quatre catégories d'enjeux aux problématiques différentes	20
Solutions potentielles de l'Industrie du Futur : 32 solutions opérationnelles pour répondre aux enjeux des secteurs de la chimie et du papier-carton	27
Sélection des solutions opérationnelles : dix critères pour le choix de douze solutions permettant de répondre au mieux aux enjeux des secteurs de la chimie et du papier	45
Ce qu'il faut retenir	52
COMPARAISON INTERNATIONALE DE LA MISE EN ŒUVRE DES SOLUTIONS IDENTIFIÉES ET POSITIONNEMENT DE LA FRANCE	55
Dynamique des secteurs de la chimie et du papier-carton et avantages concurrentiels dans cinq pays clés sur le marché international	55
Niveau d'adoption des solutions retenues et exemples pratiques dans les cinq pays clés sur le marché international	61
Le positionnement de la France dans la mise en place des solutions identifiées par rapport aux pays clés sur le marché international	72
Ce qu'il faut retenir	74
ANALYSE DES EFFETS DES SOLUTIONS ENVISAGÉES SUR LA COMPÉTITIVITÉ DES SECTEURS ÉTUDIÉS	76
Analyse des effets technologiques, organisationnels et économiques pour les solutions retenues	76
Catégorisation et analyse des effets	104
Ce qu'il faut retenir	111
CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT DES SOLUTIONS ENVISAGÉES AU SEIN DES SECTEURS CONSIDÉRÉS	114
Conditions de développement par solution opérationnelle	114
Feuille de route Industrie du Futur	128
Ce qu'il faut retenir	130
SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC	131
PRÉCONISATIONS POUR METTRE EN ŒUVRE LES SOLUTIONS PRIVILÉGIÉES	132
Quatre axes de préconisations pour les acteurs des deux secteurs	132
Recommandations	135

ANNEXES	151
Glossaire	151
Personnes consultées dans le cadre de l'étude	152
Index des illustrations	154
Volet 1	156
Volet 2	162
Bibliographie	166

INTRODUCTION

Les secteurs de la chimie et du papier-carton sont en France des secteurs dynamiques indispensables aux industries de l'aval, 15 % de la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière, 345 000 emplois. Représentant l'un des principaux postes d'exportation de notre économie, cette activité contribue au rayonnement européen et mondial de l'industrie française.

Toutefois, dans un contexte de vieillissement des installations et de risque de marginalisation de ces dernières par perte de compétitivité face à la concurrence européenne et internationale, un rebond des entreprises est vital au travers de la modernisation de leur outil industriel et de la transformation de leur modèle économique par le numérique.

Les secteurs de la chimie et du papier-carton souhaitent développer et offrir les solutions du futur, en termes de procédés ou d'approvisionnement en molécules et en matériaux aux fonctionnalités ajustées, pour répondre aux besoins des industries de l'aval.

Cette transformation doit aussi permettre à ces secteurs de mettre en œuvre des solutions qui amélioreront les moyens de production actuels, en leur permettant des gains en termes d'efficacité énergétique ou matière, de disponibilité des installations de production, de productivité de la main-d'œuvre, de sécurité des activités ou de réduction de leur impact sur l'environnement.

Cependant, l'importance des investissements des installations de production, qui impose des temps de retour longs, ne permet pas d'envisager un remplacement des outils industriels en dehors des échéances prévues de renouvellement des unités de production. L'entrée de la filière dans l'Industrie du Futur doit ainsi se faire par une modernisation de l'outil existant.

Dans ce cadre, il s'agira notamment d'exploiter au mieux les bénéfices de la transition numérique et de l'évolution des procédés pour favoriser la consolidation du socle industriel existant, y compris celui de la chimie de base à l'amont de l'ensemble de la filière. En effet, de nombreux progrès permis par la modernisation et la numérisation doivent permettre des modifications profondes des modes de production dont les effets seront en synergie avec les autres progrès matériels.

En parallèle de la modernisation et de la consolidation des outils existants, l'apparition et le développement de nouveaux procédés, de nouveaux produits ou de nouveaux modèles économiques constituent un levier clé pour orienter notre industrie vers l'avenir. Il s'agirait ainsi de faire émerger les conditions permettant aux industriels de s'inscrire dans cette démarche.

La Direction générale des entreprises (DGE), France Chimie et l'Union française des Industries des Cartons, Papiers et Celluloses (Copacel) ont conjointement mandaté EY Consulting pour réaliser l'étude : « Industrie du Futur dans les secteurs de la Chimie et du Papier-Carton : amélioration des outils de production et apport du numérique ».

Conduite en relation avec le Conseil National de l'Industrie (CNI), cette étude a pour objectif de favoriser le développement de solutions innovantes au sein de ces deux secteurs en vue de soutenir leur compétitivité.

L'étude formulera un ensemble de recommandations destinées aux acteurs privés et aux pouvoirs publics. Ces préconisations viseront à stimuler l'adoption par l'ensemble des acteurs du secteur de la chimie et du papier-carton de solutions liées aux technologies industrielles du futur (communément appelées « Industrie 4.0 »), en répondant aux enjeux de la filière.

Les secteurs de la chimie et du papier-carton sont deux secteurs d'industrie de type process pour lesquels les solutions technologiques liées à l'Industrie du Futur pourraient être intéressantes. Contrairement à d'autres secteurs tels que l'automobile ou l'aéronautique, la chimie et le papier-carton n'ont pas encore pris réellement dans l'ensemble le virage du digital et exploré les opportunités offertes par l'Industrie du Futur. L'accélération des transformations impulsées par le digital imposent à ces deux secteurs de considérer ces nouvelles solutions, d'étudier les prérequis à leur mise en place et les impacts notamment organisationnels, en formation, compétences et métiers qu'elles auront.

Pour réaliser cette étude, des entretiens sont réalisés avec des industriels de ces secteurs, des entreprises fournisseurs de solutions, des organismes de formation et des pôles d'expertise.

Les solutions qui seront identifiées, pourront s'articuler autour des technologies innovantes, s'inscrivant dans le cadre de projets Industrie du Futur, et constituant pour les entreprises un vecteur de modernisation de leur outil industriel et d'adaptation de leur modèle économique aux enjeux concurrentiels. Elles pourront conduire à mettre en œuvre des procédés nouveaux, à adapter des procédés existants contribuant à une optimisation des méthodes et moyens utilisés, ou à fabriquer des produits eux-mêmes innovants et plus compétitifs.

L'objectif visé sera poursuivi via cinq volets, énumérés ci-après :

- Volet 1 : Identifier les solutions opérationnelles et pertinentes, susceptibles d'être développées ou accrues dans les deux secteurs considérés et de contribuer à leur compétitivité.
- Volet 2 : Établir une comparaison internationale, avec quelques autres pays, sur la mise en œuvre de ces solutions, permettant notamment d'apprécier le positionnement de la France.
- Volet 3 : Analyser les effets organisationnels et économiques (avérés ou escomptés) d'un développement des solutions identifiées au sein des secteurs considérés et des entreprises qui les composent.
- Volet 4 : Examiner les conditions (freins et leviers) de développement de ces solutions dans les secteurs ciblés par l'étude.
- Volet 5 : En déduire des pistes de recommandations favorisant la diffusion de ces solutions en France, en vue de renforcer la compétitivité des entreprises concernées.

Figure 1 : Schéma de la démarche appliquée



Source : EY.

PRÉSENTATION DES SECTEURS DE LA CHIMIE ET DU PAPIER-CARTON : LES PERSPECTIVES MONDIALES ET L'EXEMPLE DE LA FRANCE

Les secteurs de la chimie et du papier-carton sont des secteurs particulièrement mondialisés.

Dans une première partie, nous présentons les principales tendances mondiales susceptibles d'affecter les deux secteurs. Dans une deuxième partie, nous mettons l'accent sur la situation française afin de montrer les influences spécifiques de ces tendances sur les secteurs dans ce pays.

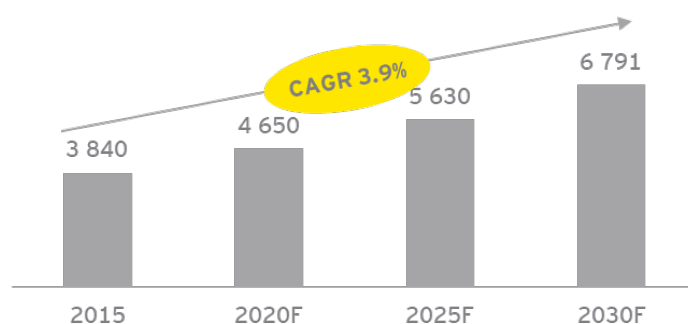
Perspectives mondiales

Dans ce paragraphe nous allons présenter les principales tendances mondiales qui affectent aujourd'hui le secteur de la chimie et du papier-carton. Ces secteurs sont subdivisés en plusieurs sous-secteurs dont les évolutions et les enjeux peuvent être très différents.

Nouvelles perspectives dans le secteur de la chimie

Selon les données du CEFIC, une analyse EY et comme le montre le graphique ci-dessous, le marché mondial des produits chimiques devrait croître en moyenne de 3,9% par an entre 2015 et 2030. Notre analyse nous a permis de constater que la part de marché des produits chimiques en Europe diminue à mesure que les ventes en Asie semblent globalement augmenter.

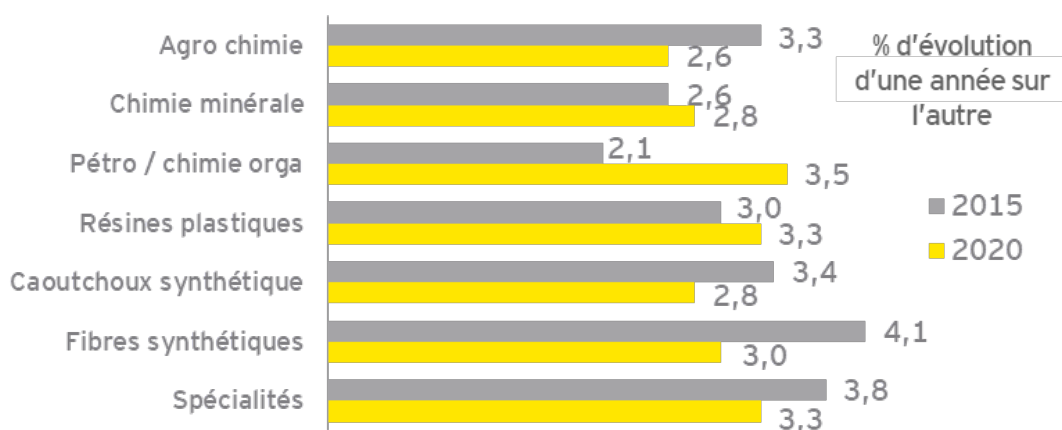
Figure 2 : Prévisions mondiales des ventes de produits chimiques



Source : CEFIC Chemdata International 2016

Selon les données de l'American Chemistry Council, chaque sous-secteur de la chimie présente un pourcentage d'évolution annuelle différente. Une estimation de ce pourcentage d'évolution annuel entre 2015 et 2020 est présentée dans le graphique qui suit.

Figure 3 : Perspectives globales de production des produits chimiques par segment



Source : American Chemistry Council

Les spécificités de chaque secteur sont illustrées ci-dessous.

Chimie de spécialités (taille du marché en 2020 : 470 Md\$)

La demande des produits chimiques de spécialités est tirée par une demande accrue dans les industries telles que la construction, l'automobile et l'électronique.

La demande est également entraînée par le phénomène d'industrialisation en Asie-Pacifique, caractérisée par un faible coût de la main-d'œuvre et la croissance économique.

Pétrochimie (taille du marché en 2020 : 885 Md\$)

Les prix bas du pétrole brut et la demande croissante des industries (la construction, l'emballage, le transport, le textile, les plastiques et la santé) devraient stimuler la demande pour l'industrie pétrochimique mondiale.

Les initiatives gouvernementales en Inde et en Chine pour l'établissement de complexes pétrochimiques entraîneront la demande. Cependant, le passage aux produits chimiques à base de biotechnologies peut nuire à la croissance.

Engrais et produits agrochimiques (taille du marché en 2020 : 195 Md\$)

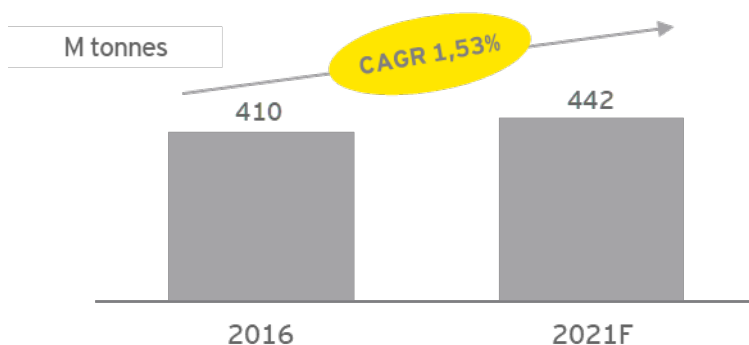
L'industrie des engrais et des produits agrochimiques sera entraînée par l'agriculture dans les pays émergents, le commerce international et les lois environnementales.

Les nouvelles technologies telles que la biotechnologie agricole, la génomique et l'agriculture biologique faciliteront l'évolution des produits.

Nouvelles perspectives dans le secteur du papier-carton

D'après une analyse EY et comme le montre le graphique ci-dessous, le marché mondial des produits papier et carton devrait croître à un taux annuel de 1,53% de 2016 à 2021. À l'instar de la chimie, la part de marché de l'Europe diminue à mesure que les ventes en Asie augmentent.

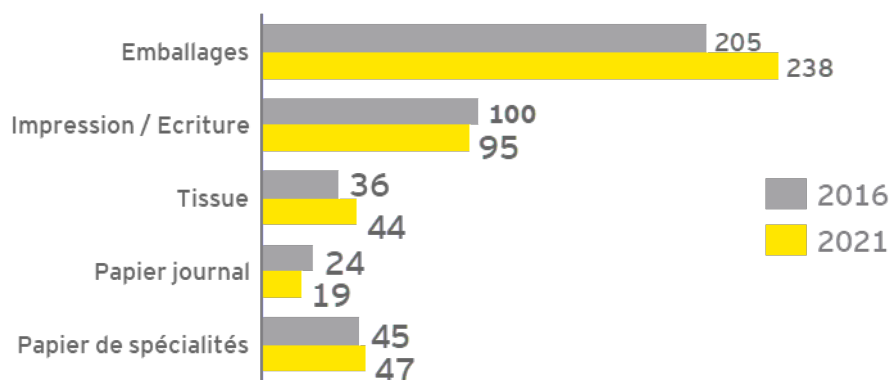
Figure 4 : Préviation mondiale de production de papier et carton



Source : Analyse EY

Similairement au secteur de la chimie, le taux prévisionnel de croissance ainsi que le total de production varient d'un secteur à l'autre.

Figure 5 : Perspectives globales de production de papier et carton par segment



Source : Analyse EY, Market Line, Copacel

Comme pour la chimie, chaque secteur dans le domaine du papier et du carton est soumis à des tendances spécifiques, présentées ci-dessous.

Emballages (taille du marché en 2021 : 237,65 Mt)

La demande pour les emballages est le principal moteur de croissance concernant la production de carton dans le monde. Celle-ci est soutenue par la croissance de l'e-commerce ainsi que par l'amélioration de la conjoncture dans les principaux secteurs clients, l'agroalimentaire et les biens d'équipement. En effet, ces deux secteurs ont des activités avec de fortes saisonnalités nécessitant la production d'emballages de manière régulière.

Impression Écriture/Journal (taille du marché en 2021 : 113,7 Mt)

La demande de papier à destination d'impression (papier couché) est en baisse à cause de la digitalisation, particulièrement dans les pays les plus développés tels que l'Europe, les États-Unis ou le Japon. Par conséquent, une baisse a été constatée concernant la demande de fournitures de papeterie dans le monde et une partie de ces machines a été convertie pour la production d'emballages.

Tissues (taille du marché en 2021 : 43,8 Mt)

La production des tissus représente le deuxième moteur de croissance après les emballages, avec un fort potentiel de croissance notamment dans les pays émergents et moins développés où l'augmentation du niveau de vie devrait accroître la demande en produits d'hygiène personnelle.

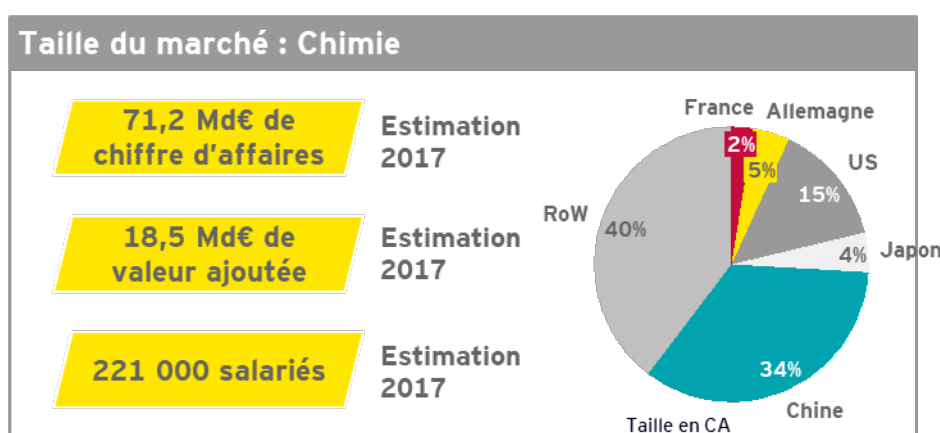
Papier de spécialités (taille du marché en 2021 : 47,3 Mt)

Le marché du papier pour billets de banque apparaît stable. Ce marché est en croissance en ce qui concerne les papiers médicaux et plus généralement pour l'ensemble des applications industrielles, par exemple concernant les filtres, les papiers thermiques, etc.

Situation de la France

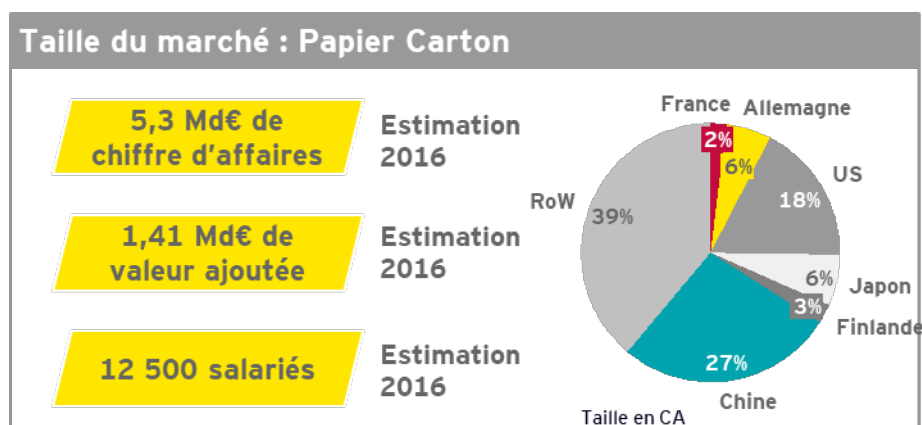
D'après une analyse EY et comme présenté dans les figures ci-dessous, la France est le 5^e pays dans le monde pour la production de produits chimiques ainsi que le 14^e pays au monde pour la production du papier-carton. Malgré ce positionnement, la taille du marché français ne représente que 2% du marché mondial, alors que ce même pourcentage est beaucoup plus élevé dans d'autres pays. De manière plus spécifique, les deux filières françaises restent derrière les États-Unis et la Chine et possèdent une part de marché respective deux fois inférieure à celle de l'Allemagne ou du Japon.

Figure 6 : Aperçu du marché Français des filières de la chimie par rapport au marché mondial



Source : Analyse EY – France Chimie

Figure 7 : Aperçu du marché Français des filières du papier-carton par rapport au marché mondial



Source : Analyse EY – Copacel

Pour continuer à peser sur le marché mondial, la France dispose d'atouts dans le domaine de l'innovation,

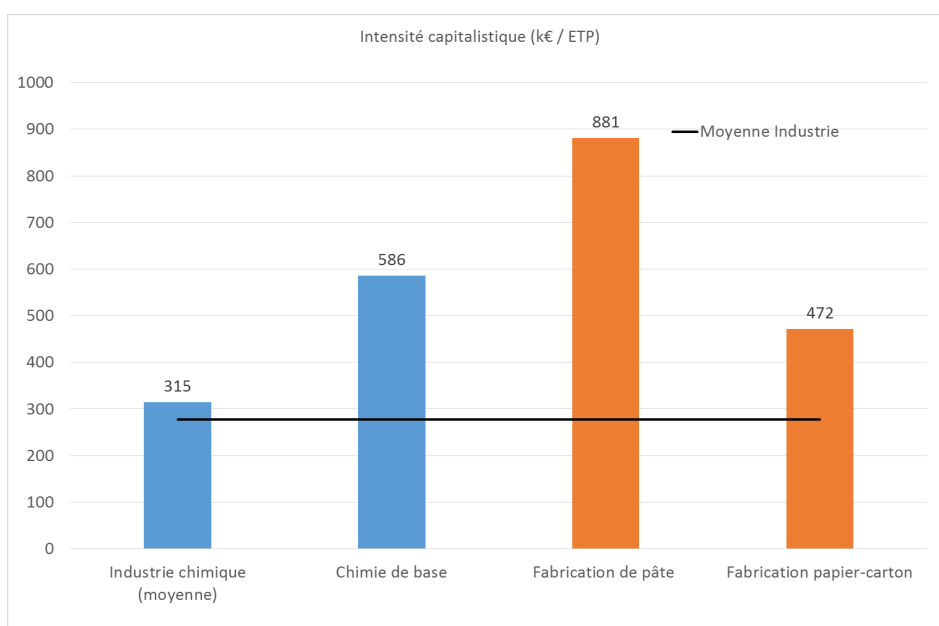
- avec une recherche académique et industrielle de qualité (Centre Technique du Papier, des organismes de formation (Pagora, Fédération Gay-Lussac), des Pôles de Compétitivité (Axelera, Elastopole, Matikem, IAR, Trimatec),
- une dynamique portée par le développement de nombreuses *start-up* (Braincube, Dataswati – dans le domaine de l'analytics industriel, Packitoo – marketplace emballage papier-carton, Cellodev – traitement enzymatique process papetier, Balyo – AGV (Automated Guided Vehicles)...).

Une politique de structuration de plateformes a été menée depuis 2013 dans le cadre du Comité stratégique de filière (CSF) « Chimie et Matériaux » ; elle aboutit aujourd'hui à la création de 16 plateformes à l'instar des emblématiques plateformes allemandes – Verbunds - de Ludwigshafen (BASF) ou de Lever- Kusen (dont Bayer est le principal opérateur).

L'évolution vers une économie bas carbone, portée notamment par la loi relative à la transition énergétique, ainsi que la digitalisation de notre économie vont améliorer sur le long terme nos capacités d'innovation. Le secteur de la chimie, notamment, a pu, grâce au Crédit Impôt Recherche (CIR) et au Crédit d'Impôt Innovation (C2I), maintenir son effort de recherche à environ 10% de sa valeur ajoutée et a augmenté ses effectifs de recherche.

Les deux secteurs ont la particularité commune d'être à forte intensité capitaliste. L'intensité capitaliste est le rapport des immobilisations corporelles brutes à l'effectif salarié en équivalent temps plein. Il est supérieur à la moyenne de l'industrie pour les deux secteurs. Les solutions peuvent donc porter sur deux types de défis : optimiser l'efficacité d'investissements lourds et/ou identifier les prochains types d'investissements procédés à préparer.

Figure 8 : Intensité capitaliste des deux secteurs



Source : Insee/Esane (moyenne Industrie et chimie - données 2015 – pâte, papier-carton - donnée 2013)

Un des enjeux français aujourd'hui est de faire les choix de ses domaines d'excellence en se positionnant sur des solutions « Industrie du Futur ».

Chimie

L'industrie chimique en France a réalisé un chiffre d'affaires de 71,2 milliards d'euros¹ en 2017, pour 18,5 milliards de valeur ajoutée. Cela représente 8,6% de la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière et 0,8% du PIB en 2015. L'industrie chimique compte 3 335² entreprises dont 94% de TPE et PME. Elle emploie 164 000³ salariés, parmi lesquels 56% travaillent dans des établissements de moins de 250⁴ salariés. En 2016, les entreprises de cette industrie ont accueilli 5 009 jeunes dont 2 698 contrats de professionnalisation et 2 311 contrats d'apprentissage. De plus, 14 556 salariés ont bénéficié d'une période de professionnalisation.

¹ Source : Insee – Estimation 2017 UIC.

² Source : OPCA DEFI – Estimation Observatoire des industries Chimiques (OPIC) 2016.

³ Sources DADS exploitation France Chimie pour le périmètre des activités de production, de la R & D et des sièges sociaux. Branche chimie = 221 187 salariés, DADS exploitation OPIC.

⁴ Source : Enquête « salaires et emploi France Chimie 2016 ».

L'industrie chimique est une industrie au service de tous les secteurs⁵ :

- 45% des produits chimiques sont destinés à l'industrie et plus précisément :
 - 12,5% à la transformation des plastiques et caoutchoucs,
 - 5,5% à l'énergie,
 - 5% à la construction,
 - 3,5% à l'industrie pharmaceutique,
 - 3% à la métallurgie,
 - 2,5% à la fabrication de matériels de transport.
- 32,2% des produits chimiques sont destinés à la consommation des ménages ;
- 11,5% sont destinés à l'agriculture, la sylviculture et la pêche ;
- 11,3% sont destinés aux services.

En France, elle est le deuxième secteur exportateur après l'aéronautique. Au total⁶, elle comptabilise 54 milliards d'euros réalisés à l'export contre 46,6 milliards d'euros à l'import, soit une balance commerciale de 7,4 milliards d'euros. Plus de 60% de l'export et de l'import sont réalisés avec l'Union européenne (28 pays membres). Les deux autres zones géographiques clés pour l'industrie chimique sont les États-Unis, avec lesquels la France exporte 6,5% et importe 10% de son chiffre d'affaires, et les pays d'Asie (hors Japon), avec lesquels la France exporte 10,2% et importe 6,5%.

Deux facteurs sont d'une importance particulière dans le secteur de la chimie : la sécurité et l'environnement.

Concernant la sécurité, l'industrie chimique consacre 49,3% de ses investissements industriels au maintien et à la modernisation de ses sites et 11,5% de ses investissements industriels à la maîtrise et prévention des risques. L'innovation est un sujet essentiel pour l'industrie chimique puisque 1,8 milliard d'euros sont consacrés à la R & D ce qui correspond à 10% de sa valeur ajoutée. 13 136 personnes travaillent en R & D dans la filière et elle compte 5 849 chercheurs et ingénieurs⁷.

L'environnement est aussi au cœur des préoccupations des entreprises de l'industrie chimique. 11%⁸ des investissements sont consacrés à la réduction de son empreinte environnementale. Depuis 2005, une réduction de 56% des rejets de composés organiques volatils dans l'air a été constatée ainsi qu'une diminution de 42% de particules en suspension. De plus, la chimie représente moins de 5% des émissions de gaz à effet de serre en France avec une réduction de 57% depuis 1990.

Photo 1 : Installations chimiques



Source : Siemens ©

⁵ Source : Insee, tableaux entrées/sorties des comptes de la Nation 2014, exploitation OPIC.

⁶ Source : Douanes.

⁷ Source : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche 2014 - Dépenses de R & D réalisées en France.

⁸ Source : Enquête « investissements » France Chimie 2016.

Papier-carton

L'industrie du papier-carton en France compte 75 entreprises. Ces entreprises totalisent 85 usines et 130 machines à papier pour 12 334 salariés. Le chiffre d'affaires de l'industrie des papiers et cartons est de 5,5 milliards d'euros. Le chiffre d'affaires de l'industrie des pâtes à papier est de 0,7 milliard d'euros.

Le secteur a consommé 6 742 milliers de tonnes de bois pour produire 1 713 milliers de tonnes de pâtes dont 494 sont exportées. Près de 1 993 milliers de tonnes de pâtes sont importées soit une consommation totale de 2 885 milliers de tonnes de pâtes. D'autre part, 7 289 milliers de tonnes de papiers et cartons à recycler (PCR) sont récupérés. 2 896 milliers de tonnes sont exportées pour 986 milliers de tonnes de PCR importées, soit une consommation de 5 383 milliers de tonnes de PCR. En synthèse, cela représente 8 021 milliers de tonnes de papiers et cartons produits en 2017 auxquelles il faut ajouter 843 milliers de tonnes de papiers et cartons importés, soit une consommation apparente de papiers cartons de 8 864 milliers de tonnes.

Le contexte économique de l'année 2017 a été favorable à une reprise économique mondiale, l'activité économique française a accéléré en 2017 (+1,9% en 2017 après 1,1% en 2016). La consommation apparente en France de papiers et cartons a été de 8,9 millions de tonnes sur l'année 2017 soit une augmentation de +0,5% par rapport à 2016.

L'essentiel des importations françaises de papiers et cartons provient des membres de l'Union européenne. Les trois principaux partenaires européens sont l'Allemagne (25%), l'Italie (12%) et la Suède (10%). Grâce à une production supérieure à 2016 et sous l'effet d'une plus forte demande européenne, les exportations françaises de papiers et cartons ont augmenté en 2017 (+0,3%)⁹.

Photo 2 : Machine à papier



Source : Sterimed ©

⁹ Source : Rapport annuel 2017 de la Copacel, Union française des Cartons, Papiers et Celluloses.

IDENTIFICATION DES SOLUTIONS PERTINENTES POUR LES SECTEURS DE LA CHIMIE ET DU PAPIER-CARTON

Le volet 1 de l'étude « Industrie du Futur dans la filière chimie et matériaux : amélioration des outils de production et apport du numérique » a pour objectif d'identifier des solutions pertinentes pour les secteurs de la chimie et du papier-carton.

Afin de répondre à l'objectif du volet 1, un état des lieux des solutions existantes a été réalisé. Cet état des lieux a été réalisé auprès des industriels des deux secteurs en France et à l'étranger. Les pays ciblés sont les pays où les industries de la chimie et du papier-carton ont une activité significative au niveau mondial et dans lesquels les entreprises sont susceptibles d'avoir un niveau de maturité proche ou supérieur à celui des entreprises françaises et d'être en concurrence avec celles-ci. Il s'agit de l'Allemagne, des États-Unis, du Japon et de la Chine pour le secteur de la chimie ainsi que de l'Allemagne, des États-Unis, du Japon et de la Finlande pour le secteur du papier-carton.

Pour atteindre l'objectif, une vingtaine d'entretiens ont été réalisés auprès d'industriels des deux secteurs et d'offres de solutions. Ils ont été complétés par une étude bibliographique également ciblés sur la France et les cinq pays cités précédemment. La méthodologie est expliquée plus en détail dans le paragraphe qui suit, avec une liste non exhaustive des sources présentée dans les annexes.

Dans un premier temps, les principaux enjeux des deux secteurs ont été déterminés. Dans un second temps, une liste exhaustive de solutions a été proposée. L'identification des enjeux a permis de s'assurer de la pertinence des solutions pouvant améliorer la compétitivité des industriels des deux secteurs. Enfin, une grille d'évaluation a permis de réduire la liste de solutions à conserver pour la suite de l'étude.

Identification et pertinence des enjeux des secteurs de la chimie et du papier-carton : quatre catégories d'enjeux aux problématiques différentes

Méthodologie d'identification et classification des enjeux

Seize enjeux répartis en 4 catégories ont été identifiés comme pertinents pour les industriels des deux secteurs.

Définitions

Dans le cadre de l'étude, quatre notions sont essentielles pour la compréhension de l'approche et du raisonnement utilisé.

- Dans un premier temps, il a été nécessaire d'identifier des **catégories d'enjeux** auxquels sont confrontés les industriels des deux secteurs. Ces catégories correspondent à des thématiques clés de l'industrie.
- Dans un deuxième temps, pour chaque catégorie d'enjeu, des **enjeux** ont été spécifiés.
La définition retenue pour **enjeu** est la suivante : C'est un sujet d'amélioration potentiel pour un industriel visant les meilleurs standards du marché ou une différenciation dans un objectif d'accroissement de sa compétitivité.
- Les **solutions opérationnelles** permettent de répondre aux enjeux identifiés précédemment. Elles « peuvent s'articuler autour des technologies innovantes, s'inscrivant dans le cadre d'un projet Industrie du Futur, et constituant pour les entreprises un vecteur de modernisation de leur outil industriel et d'adaptation de leur modèle économique aux enjeux concurrentiels. Elles pourront conduire à mettre en œuvre des procédés nouveaux, à adapter des procédés existants contribuant à une optimisation des méthodes et moyens utilisés, ou à fabriquer des produits eux-mêmes innovants et plus compétitifs ».
- Enfin les « technologies innovantes » ou les « procédés nouveaux » sur lesquelles s'articulent les solutions opérationnelles sont appelées **briques technologiques**.

Le premier volet de l'étude consiste à « identifier des solutions pertinentes pour renforcer la compétitivité des deux secteurs industriels ». Pour réaliser cet état des lieux, deux moyens de collecter de l'information ont été mobilisés. Le premier est une étude bibliographique sur le secteur de la chimie et du papier-carton (cf. annexes). Le deuxième est une série d'entretiens menés auprès d'industriels des deux secteurs, de fournisseurs de solutions et de centres d'expertise. Au total, une vingtaine d'entretiens ont été réalisés sur la base de propositions des fédérations professionnelles, France Chimie et la Copacel et les propositions faites par EY Consulting. Un tiers des industriels était issu du secteur de la chimie, un tiers pour le papier-carton et enfin un tiers pour les fournisseurs de solutions.

Les entretiens avec des industriels du secteur et les études bibliographiques ont permis de confirmer les catégories d'enjeux que ces industries rencontrent, corroborant les échanges avec les experts internationaux EY et notre approche des enjeux de l'Industrie du Futur.

Cette méthodologie nous a permis de segmenter quatre catégories d'enjeux¹⁰ :

- La performance industrielle ;
- La relation client et nouvelles offres ;
- Les ressources humaines ;
- Le développement durable.

Description des enjeux des secteurs de la chimie et du papier-carton dans les domaines de la performance industrielle, la relation client et les nouvelles offres, les ressources humaines et le développement durable

La performance industrielle

La problématique de la compétitivité, à laquelle l'ensemble de l'industrie française est confrontée, a conduit à identifier la performance industrielle comme étant l'une des catégories d'enjeux clés pour l'étude.

La performance industrielle est fondée sur le triptyque coûts, qualité et délais. Concevoir, gérer et exploiter les outils industriels afin de garantir la productivité, la flexibilité, la pérennité et la sécurité permettent de répondre à la catégorie d'enjeu de la performance industrielle.

La recherche d'amélioration de la performance industrielle permet de travailler sur l'amélioration de la productivité de la main-d'œuvre, l'amélioration des TRS (Taux de Rendement Synthétique¹¹) des installations, le rendement matière (coûts), l'adaptation aux exigences du marché (réactivité, délai) et la satisfaction client (qualité).

La chimie et le papier-carton sont des industries fortement capitalistiques avec des évolutions permanentes des outils de production mais avec relativement peu de création de nouvelles installations en France. Compte tenu de l'horizon temporel de l'étude et des attendus, l'essentiel des solutions proposées relatives à la performance industrielle viseront donc à optimiser les outils existants ou s'appuieront sur ceux-ci. Néanmoins, l'apparition et le développement de nouveaux procédés, nouveaux produits et nouveaux modèles économiques seront identifiés afin de proposer un plus large éventail de solutions.

Cette catégorie est composée de cinq enjeux ayant été les plus mentionnés lors des entretiens ou ayant été les plus relevés lors de l'étude bibliographique. Il s'agit de la maîtrise des procédés, la maintenance, la simulation ex ante ou ex post, la productivité de la main-d'œuvre et le management de la chaîne logistique. Ces cinq enjeux couvrent l'ensemble des composantes industrielles d'une entreprise des secteurs de l'étude. La justification du choix de ces enjeux est détaillée ci-après :

1. La **maîtrise des procédés**¹² vise à anticiper les mesures à prendre sur la production pour améliorer un processus de fabrication industrielle. Elle se fait à partir de la collecte et l'analyse de données de production qui sont ensuite mises en perspective et visualisées pour permettre la prise de décisions visant à optimiser l'outil de production. L'enjeu est de contrôler en temps réel la production en cours afin d'améliorer la qualité et d'optimiser l'efficacité de l'outil de production.

¹⁰ Cette partition est conforme par exemple au dossier (du 18 mai 2015) sur l'Industrie du Futur, « Réunir la Nouvelle France Industrielle », présente l'enjeu de l'Industrie du Futur en France comme étant de « forger une industrie plus connectée, plus compétitive, plus réactive aux besoins de ses clients, plus respectueuse de son environnement et des travailleurs ».

¹¹ Le taux de rendement synthétique est un indicateur destiné à suivre le taux d'utilisation de machines. Il est défini par le rapport entre la production réelle et la production maximum théorique.

¹² Un procédé industriel est un procédé de nature mécanique ou chimique destiné à produire des objets ou à synthétiser des produits chimiques en grande quantité et dans des conditions techniquement et économiquement acceptables.

2. Selon l'AFNOR, **la maintenance** vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé. Elle a été redéfinie en 2001 au niveau européen (NF EN 13306 X 60-319) comme l'« ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». La maintenance couvre ainsi les actions traditionnelles de dépannage, réglages, révisions, contrôles, vérification et amélioration d'équipements mais aussi le suivi du cycle de vie des installations qui sont par essence longues pour les deux secteurs. L'enjeu vise à suivre et interpréter certains paramètres des équipements pour prévoir une panne et entretenir la machine en conséquence en minimisant l'impact sur la production.
3. Par **simulation ex ante ou ex post**, on entend l'analyse de faits industriels et économiques avant qu'ils ne se soient produits ou après qu'ils se soient produits. Répondre à cet enjeu doit permettre d'accélérer les travaux de développement de nouveaux produits/process ou la conception de lignes de production. L'enjeu est d'améliorer l'efficacité et la rentabilité d'un procédé par la conception et la simulation du procédé existant ou d'une nouvelle unité de production.
4. La **productivité de la main-d'œuvre** reste un enjeu relativement important dans les pays où les salaires sont élevés y compris pour des activités de process. La productivité apparente du travail est usuellement mesurée en rapportant la valeur ajoutée créée au facteur travail. Elle est supérieure à la moyenne de l'industrie pour les deux secteurs d'après les données INSEE – ESANE de 2015 : 93 k€/ETP pour la fabrication de pâte/papier/carton et 130 k€/ETP pour l'industrie chimique versus une moyenne de 86 k€/ETP pour l'industrie en moyenne. La robotisation et l'automatisation couplées à une évolution des modalités de travail des opérateurs et techniciens devraient permettre d'améliorer ce ratio.
5. Enfin le **management de la chaîne logistique** est le dernier enjeu de la catégorie performance industrielle. Les réponses à apporter à cet enjeu doivent permettre d'identifier des leviers différenciant notamment sur la qualité de service et la performance en termes de délai et de réactivité.

La relation client et nouvelles offres

La relation client est le nerf de la guerre pour les entreprises évoluant dans un environnement économique mondialisé où l'offre est de plus en plus ouverte aux clients. L'évolution des types de relation client transforme les modèles de revenus des entreprises – en passant de la vente de produits traditionnelles à la vente de produits « comme un service » et parfois l'organisation des entreprises elles-mêmes. Les solutions Industrie du Futur apportent de nouvelles possibilités aux industriels et le développement de nouvelles offres peut représenter une opportunité pour améliorer ou renforcer leur position sur le marché.

La relation client est souvent perçue comme le moyen pour les entreprises d'adapter au mieux les caractéristiques de leur offre aux besoins de la demande. Un positionnement de produit en parfaite adéquation avec les attentes des clients confère ainsi un atout de compétitivité au regard d'offres concurrentes qui n'ont pas satisfait à cette démarche. Or, la gestion de cette relation client apparaît de plus en plus complexe sur des marchés où la demande tend à se diversifier, tant par l'hétérogénéité des solutions attendues, que par la pluralité des canaux aux travers desquels elle se constitue et s'exprime. Dans cette intensification de la relation, le client peut même être conduit à sortir de son simple rôle de destinataire du produit pour entrer dans une logique de co-conception, voire même de coproduction, avec le fournisseur. L'intensité de la relation client (correspondant à la quantité d'informations échangées entre le client et le fournisseur, à la fréquence et à l'interactivité de l'échange) peut être nourrie et augmentée par la mise en place de solutions numériques nouvelles.

Le phénomène est visible pour certains secteurs en B2C (Business to Clients), où la désintermédiation de la chaîne de valeur a contraint de nombreux acteurs à repenser leur relation client pour éviter de se faire subtiliser la valeur produite, par les distributeurs. En effet, le distributeur va chercher à retirer plus de valeur auprès du client dans la mesure où il connaît mieux ses besoins grâce aux données de vente et de comportements client. De nombreux acteurs notamment industriels ayant subi violemment ce phénomène, cherchent à se rapprocher de leur client en axant les efforts sur l'expérience client. Les e-commerçants tels que Amazon et Alibaba ont, à travers leur plateforme, capté une grande partie de la valeur des acteurs proposant des biens de grande consommation et désormais de manière plus large.

Il n'y a pas encore d'acteur ayant impacté les secteurs de l'étude mais la relation client et les nouvelles offres est une catégorie d'enjeux clé pour les industries chimiques et du papier-carton. Certains acteurs mondiaux commencent à anticiper ce phénomène pour éviter de subir l'apparition de nouveaux acteurs au sein de leur chaîne de valeur.

Cette catégorie est composée de 3 enjeux. La position sur la chaîne de valeur, la sécurité industrielle, la traçabilité tout au long du cycle de vie du produit et la partage d'actifs au sein de l'environnement industriel de l'entreprise :

1. La **position sur la chaîne de valeur**¹³ est un des enjeux forts notamment dans une perspective de transformation digitale des entreprises. Cette transformation a un fort impact sur les relations entre les acteurs d'une chaîne de valeur. La nature de ces relations évolue et les rôles des différents acteurs changent pour couvrir des périmètres plus larges ou plus spécifiques avec parfois un repositionnement sur son cœur de métier ou l'ouverture vers de nouvelles activités jugées porteuses. L'enjeu est d'exploiter l'apport du digital pour repenser ce positionnement.
2. La **sécurité industrielle** est un enjeu portant sur les biens, les personnes et également la pérennité de l'entreprise. Il s'agit de concilier les exigences de rentabilité à court terme avec des exigences de sécurité des biens et des personnes visant à réduire les risques sur le plan environnemental, social et économique. Certaines activités des acteurs de la filière présentant des dangers et donc des risques technologiques avérés, la sécurité industrielle se focalise sur l'analyse de ces risques et leur maîtrise. Dans la mesure où les entreprises hébergent de plus en plus de données clients, il est nécessaire de s'assurer que les entreprises disposent des agréments garantissant que les prestataires se conforment à la réglementation française et que les données soient hébergées en respect des obligations en vigueur. Ainsi la gestion de la relation client en garantissant la sécurité des données clients et industrielles est une réalité que les entreprises doivent prendre en compte.
3. La **traçabilité** tout au long du cycle de vie du produit est un enjeu pour trois raisons principales : la pression sociétale demandant plus de transparence sur l'origine des produits qu'elle consomme, la réglementation qui est parfois une conséquence de cette pression sociétale et les possibilités offertes par la technologie permettant d'accéder à des informations et de les conserver tout au long du cycle de vie du produit. Le client est de plus en plus regardant et demandeur d'information sur l'origine des produits qu'ils consomment, ainsi que sur le stockage des données. C'est en ce sens que cet enjeu se rattache à la catégorie « relation client ».

Les ressources humaines

Dans ce contexte de fortes évolutions, les ressources humaines des entreprises jouent aussi un rôle essentiel, pouvant être à la fois freins ou accélérateurs. L'évolution des métiers traditionnels et les changements de mentalités des générations Y et Z vis-à-vis du travail imposent aux entreprises de porter une attention particulière à leurs salariés tant pour le recrutement de nouveaux collaborateurs que sur la formation et la fidélisation des salariés.

Définitions

Selon William Strauss et Neil Howe, sociologues américains, spécialistes de l'étude des générations, la **génération Y** correspond aux personnes nées entre 1980 et 1995 ayant grandi avec l'avènement du digital. Également appelée génération « WHY¹⁴ », c'est une génération caractérisée de plus en plus par la recherche de sens dans son travail. Connecté en permanence, ils ont une tendance au zapping et peuvent donner l'impression d'un manque de fidélité envers leurs employeurs. Cependant ils sont très impliqués dans le travail à condition d'en voir le sens. Capables de s'adapter à un environnement en constante évolution, une étude IPSOS a récemment révélait que 6 cadres sur 10 étaient convaincus qu'ils exerceraient plusieurs activités professionnelles d'ici dix ans.

La **génération Z** est née entre 1995 et 2010. Cette génération est née avec Internet et a grandi avec les réseaux sociaux et les téléphones portables. Parfois appelée première génération mondiale, ils sont encore plus connectés que leurs aînés. Ils respectent davantage les managers qui leur ressemblent et qui sont dans l'exemplarité et ont tendance à rejeter tout ce qui est « statutaire ». Assez pessimistes sur leur espoir en termes de carrière, ils sont attirés par l'entrepreneuriat et risquent d'être insatisfaits dans des grandes structures si elles freinent leur élan et leur volonté de prendre des initiatives.

Les **millennials** sont les personnes appartenant aux générations Y et Z. D'après une enquête de Deloitte auprès des millennials sur le sujet Industrie 4.0¹⁵, ils pensent ne pas être suffisamment préparés aux changements qu'apportera l'Industrie du Futur. Seul 36% des millennials considèrent qu'ils ont les compétences et le savoir dont ils ont besoin et 11% disent qu'ils leur manquent « les compétences et le savoir alors que l'Industrie du Futur transforme de plus en plus leur environnement de travail.

¹³ La chaîne de valeur est l'ensemble des étapes déterminant la capacité d'un domaine d'activité stratégique à obtenir un avantage concurrentiel.

¹⁴ « Pourquoi »

¹⁵ Source : Deloitte's 2018 Millennial Survey: Industry 4.0, Employer Loyalty and Business Ethics

Une part importante des métiers que l'on trouve aujourd'hui dans l'industrie aura une forte probabilité d'être automatisée dans les 20 années à venir. La nécessité de l'accès à la formation tout au long de leur carrière fait de la formation continue un instrument essentiel pour accompagner les salariés.

Trois enjeux ont été identifiés lors de entretiens et au cours de l'étude bibliographique. Ils correspondent aux différentes étapes du cycle de vie professionnelle d'un salarié et sont illustrés comme suit :

1. **L'attractivité des entreprises** représente la première étape du cycle de vie des salariés. Afin d'attirer les jeunes générations, les industriels doivent travailler sur l'attractivité des métiers et les parcours professionnels au sein des entreprises du secteur. Cette attractivité doit pouvoir répondre au turnover important et régulier qui est de plus en plus marqué dans les industries.
2. **La montée en compétences des salariés** représente la deuxième étape du cycle de vie des salariés. Dans un contexte où les besoins des entreprises évoluent très rapidement, notamment avec la digitalisation des métiers, l'entreprise a un rôle important à jouer dans l'accompagnement des salariés pendant leur parcours professionnel. Ceci doit se faire vis-à-vis des salariés, en termes de formation tout au long de la vie et de reconversion professionnelle, mais également vis-à-vis de l'entreprise, en tenant compte des impacts organisationnels qui peuvent en dériver. En effet, la réglementation française est actuellement en train d'évoluer pour répondre à cet enjeu. Les grands axes de la réforme de la formation professionnelle ont été présentés par la ministre du Travail, Muriel Pénicaud, ministre du Travail, en mars 2018. En outre, les solutions digitales offrent la possibilité d'accompagner les personnels dans leur processus d'apprentissage ou de formation, et peuvent ainsi constituer des outils d'assistance au travail.
3. **La fidélisation des salariés** est la troisième étape du cycle de vie professionnelle et devient essentielle afin d'assurer que l'investissement fait en termes de formation soit pérennisé et rentable. En effet, dans un contexte où les jeunes générations Y et Z n'auront pas de difficultés à s'approprier les nouvelles technologies ou les nouveaux procédés, elles pourraient à l'initiative de leur mise en place. Si traditionnellement il y a un compagnonnage, lors de l'arrivée de nouveaux salariés, implanté dans la culture de ces industries de process, un mentoring inversé pourrait se développer et les jeunes générations aideront les plus anciennes à accepter et s'approprier ces nouveaux modes de travail. Il devient donc nécessaire de fidéliser les jeunes générations tout en conservant les plus anciennes dépositaires du savoir-faire.

En synthèse, la problématique liée aux ressources humaines est double pour les industriels : attirer les jeunes générations qui seront les principaux acteurs de la transformation numérique des entreprises par des technologies innovantes ou de nouveaux procédés, tout en conservant les générations plus anciennes compétentes en matière de pilotage et de compétence techniques et opérationnelles.

Le développement durable

Le développement durable est une catégorie d'enjeu commune et essentielle à la fois pour l'industrie chimique et celle du papier-carton. On définit ici le développement durable comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »¹⁶. Cette définition intègre trois dimensions : la première est économique et elle consiste à trouver un juste équilibre entre profit et gestion durable de l'environnement ; la seconde implique une responsabilité sociale et vise à satisfaire les besoins essentiels des populations tout en réduisant les inégalités sociales dans le respect des différences culturelles ; la troisième implique une responsabilité environnementale qui cherche à maintenir l'équilibre écologique sur le long terme tout en limitant l'impact sur l'environnement. Mais le développement durable peut être parfois perçu par les entreprises comme un impératif exogène, issu principalement du cadre réglementaire, et indépendant de leurs objectifs industriels immédiats. Les solutions du futur peuvent alors contribuer à alléger le poids de cet impératif à respecter, par le recours par exemple à des technologies ou procédés plus économes en ressources et en émissions, susceptibles de réduire l'empreinte environnementale.

France Chimie a identifié huit axes pour la chimie durable¹⁷. Le carbone renouvelable issu des agro-ressources et de la biomasse ainsi que l'exploitation de ressources issues du recyclage associée au concept d'économie circulaire sont les deux premiers axes identifiés. Les axes suivants portent sur le domaine de l'énergie et la mise au point de nouveaux matériaux plus performants. L'éco-efficacité des procédés doit permettre de produire plus avec moins pour minimiser les impacts environnementaux. Les méthodes d'analyse constituent le sixième axe, elles vont chercher à évaluer la performance des procédés et des produits. Enfin, deux axes transversaux sont décrits : l'éco-conception et l'analyse du cycle de vie et l'organisation de l'écosystème de l'innovation.

¹⁶ Définition publiée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations Unies, dit rapport Brundtland

¹⁷ D'après la feuille de route de SusChem France

De nombreuses industries ont récemment adopté une démarche écoresponsable pour répondre à l'enjeu de développement durable auquel l'ensemble de l'industrie est confronté.

Selon la CEPI (Confederation of European Paper Industries), les émissions de CO₂ par tonne de papier-carton produit ont été réduites de 43% entre 1990 et 2014. Les actions menées par l'industrie papetière sont continuellement menées dans la recherche de réduction de la consommation d'énergie et d'eau ainsi que l'augmentation du recyclage.

L'industrie du papier-carton se nourrit ainsi en boucle de recyclage vertueux depuis plusieurs années. De plus, depuis que la Chine a annoncé vouloir restreindre l'importation de déchets à partir de 2018¹⁸, de nouvelles perspectives s'ouvrent. En effet, les usines mondiales de traitement des déchets ne sont pas en mesure de consommer ces volumes aujourd'hui importés par la Chine et cela pourrait entraîner un risque de saturation des capacités de stockage en France, amplifié par la dernière amélioration du geste de tri et de l'extension des consignes de tri. Si sur le moyen terme il peut y avoir un besoin d'incinération ou de mise en décharge important de ces excédents, l'intensification du recyclage en France et en Europe pourrait représenter une solution sur le long terme. Dans ce cadre, l'élaboration d'une feuille de route de l'économie circulaire par le gouvernement permettrait d'assurer une correspondance entre les exigences environnementales et les besoins du tissu industriel français. Nous ne traiterons pas du sujet du recyclage dans la suite de ce rapport ; ce sujet nécessiterait un rapport à lui seul.

Cette catégorie d'enjeux est composée de 5 enjeux : la réduction des émissions de gaz à effet de serre, le rendement matière, la valorisation des coproduits, la recyclabilité et le biosourcing de matières premières.

1. La **réduction des émissions de gaz à effet de serre** est l'enjeu le plus parlant du développement durable. Responsables du réchauffement climatique de la planète, les gaz à effet de serre (GES) sont principalement générés par l'industrie et l'énergie qui l'alimente en grande partie. Les industriels essaient de plus en plus de réduire leurs émissions.
2. Afin de réduire leur impact environnemental, les industriels cherchent également à optimiser leur **rendement matière**. La dimension économique est essentielle puisqu'une consommation moindre de matière première permet de réduire le coût de production. Cette dimension entraîne donc un lien compatible entre développement durable et performance industrielle.
3. L'utilisation de matières premières alternatives telles que des **matières biosourcées** permet de substituer des matières premières fossiles. De cette manière la filière chimique contribue à réduire notre dépendance aux ressources fossiles et améliore l'impact environnemental. Il est nécessaire de mettre en place des synergies en amont entre les agriculteurs et les acteurs agro-industriels avec l'industrie chimique et en aval avec les distributeurs et la gestion des déchets.
4. L'industrie papetière – fabrication de pâte et papier-carton – génère des co-produits (déchets de bois, liqueurs, boues, ..) – pas nécessairement valorisés et nuisant à l'empreinte environnementale de la filière. La **valorisation des coproduits** répond ainsi la possibilité d'accroître la marge dans un secteur aux marges faibles et à une réglementation aux exigences environnementales croissantes. En ce qui concerne spécifiquement le secteur de la fabrication de la pâte, le nombre maintenant réduit d'usines en France (une dizaine) incite à étudier les possibilités de valorisation des co-produits mais également leur reconversion pour maintenir une activité face à des installations concurrentes aux volumes de production plus importants.
5. La **recyclabilité et le codéveloppement** sont des enjeux stratégiques pertinents pour les deux filières, à la fois pour l'environnement mais également pour l'économie. L'industrialisation du recyclage est une réalité poussée par l'économie circulaire particulièrement pertinente dans un contexte de raréfaction des matières premières et de volatilités des cours. Selon une citation d'ADEME, « au cœur de l'économie circulaire, le recyclage est le principal contributeur à l'économie de matière et à la dimension de la pression sur les matières non renouvelables ». La réduction de la consommation d'eau, très conséquente dans ces deux industries, ainsi qu'une réduction des émissions CO₂, peuvent également représenter une réponse cet enjeu.

Synthèse des enjeux

Le tableau ci-après donne une vision synthétique des enjeux identifiés. Un tableau exhaustif, en annexe, présente les situations lors desquels les enjeux ont pu être cités.

¹⁸ « Le 18 juillet 2017, la Chine a officiellement notifié à l'OMC son intention de stopper l'importation de 24 types de déchets appartenant à 4 classes avant la fin de l'année 2017. » d'après le Guoji Jinrong Bao | Shanghai | ifnews.com

Figure 8 : Récapitulatif des enjeux identifiés

Catégorie d'enjeu	Enjeu
Performance industrielle	Maîtrise des procédés
	Maintenance
	Simulation ex ante ou ex post
	Productivité main-d'œuvre
Relation client et nouvelles offres	Management de la chaîne logistique
	Position sur la chaîne de valeur
	Sécurité industrielle
Ressources humaines	Traçabilité
	Attractivité des entreprises
	Montée en compétences des salariés
Développement durable	Fidélisation des salariés
	Réduction des émissions de gaz à effet de serre
	Rendement matière première
	Valorisation des coproduits
	Recyclabilité et codéveloppement

Source : Analyse EY

Solutions potentielles de l'Industrie du Futur : 32 solutions opérationnelles pour répondre aux enjeux des secteurs de la chimie et du papier-carton

L'état des lieux des solutions de l'Industrie du Futur pertinentes pour les secteurs de la chimie et du papier-carton ont permis d'identifier trente-deux solutions.

Identification et description de 32 solutions potentielles

Le travail d'identification des solutions pertinentes précédemment décrit a permis de lister 32 solutions opérationnelles répondant aux enjeux présentés en début de rapport. Cette liste est exhaustive puisqu'elle présente la totalité des solutions ayant été abordées lors des entretiens ou ayant été identifiées dans l'étude bibliographique.

Un recensement des situations lors desquelles la solution a été rencontrée a été réalisé. Le tableau en annexe présente ce recensement et permet d'appréhender la « notoriété » de la solution.

Analytics industriel

Description opérationnelle

L'analytics industriel correspond à l'utilisation d'algorithmes d'analyse de données pour optimiser la maîtrise des procédés et anticiper les défaillances des équipements pour la maintenance. La solution se distingue par trois niveaux de maturité dans les approches du traitement de la donnée :

1. Le premier niveau est la mise en commun des données et leur exploitation historique. Le prérequis est de créer une plateforme permettant de concentrer les données de procédé. La création de cette base de données d'appuie sur une interface OPC (Open Platform Communication). Des algorithmes sont appliqués sur les données. Il est possible grâce à ces analyses de faire de la comptabilité analytique fine et établir des modèles prédictifs pour viser des objectifs donnés (spécifications produits, optimisation de coût de formulation, rendement matière,...)
2. Le deuxième niveau est le pilotage en temps réel des procédés. L'intégration d'une solution de traitement analytique des données prenant en compte des données temps réel et leur historique permet de donner aux opérateurs en salle de pilotage la bonne recette et les bons paramètres pour viser un résultat donné.
3. Le dernier niveau est le pilotage par l'intelligence artificielle des automates de production. Le bouclage complet de ce type de solution sera effectué avec l'intégration d'une couche d'IA connectée aux automates – pour envoyer les cibles de régulation et les paramètres de procédés.

Cas d'application

- En France, un industriel de la chimie a obtenu 40 M€ de gains sur 1 site par le développement des suivants : consommation électrique, consommation matière, TRS.
- En France, un industriel du papier-carton a réussi à passer en quelques mois de 12% à 36% de recyclé.
- En France, un industriel du papier a réussi à passer de 7 casses par jour à 1,2 casse par jour pour cause de stickies (composés colloïdaux).
- Chez Novacap, l'analyse de données grâce au recueil de données et à l'utilisation d'approches statistiques permet d'optimiser la production.
- En Allemagne, Koehler Paper Group utilise de nombreux systèmes d'informations tels que SAP Manufacturing Integration and Intelligence (SAP MII), SAP HANA platform, SAP Predictive Analytics et des capteurs pour suivre les caractéristiques du papier pendant sa fabrication.
- Au Japon, Nippon Paper Group et Japan Pulp and Paper Co. Ltd. développent des solutions pour l'industrie papetière dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Capteurs et internet des objets

Description opérationnelle

La définition internationale faite par l'Union internationale des télécommunications décrit l'internet des objets (IdO) ou internet of things (IoT) comme « une infrastructure mondiale pour la société de l'information qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ». L'internet des objets est donc un réseau connecté *via* des systèmes d'identification électronique et des dispositifs mobiles sans fil, des capteurs. L'internet des objets est donc un réseau d'objets intelligents qui communiquent entre eux *via* internet.

L'internet des objets industriels (IIoT) permet aux industriels de mieux gérer les échanges d'information, améliorer la communication et optimiser le contrôle et la gestion des systèmes. Les plateformes IoT permettent de mettre en place un réseau de l'ensemble de ces outils connectés par rapport à une situation où chaque équipement est isolé. Le monde réel et virtuel de l'entreprise se rejoignent pour qu'elles bénéficient d'une plus grande efficacité, réalisent des réductions de coût et optimiser leurs ressources.

Ils permettent de surveiller : les consommations, les équipements (maintenance prévisionnelle), la qualité et la performance (durée du batch, consommation des matières premières, coût de la main-d'œuvre). Cela permet également une surveillance 24h sur 24 et notamment partout où l'opérateur ne peut pas aller.

Le prix des capteurs connectés diminue régulièrement et leur installation devient plus facile. La connexion sans fils à ces capteurs permet également de les multiplier.

Cas d'application

- Au Japon, Kaneka Corp. a créé une division appelé Business Process Innovation Division pour promouvoir la transformation des opérations grâce au digital et à l'internet des objets.
- Sumitomo Chemical travaille sur la transformation numérique d'une usine en tirant profit des technologies lié à l'internet des objets pour mettre en avant l'accès à l'information en temps réel dans son système d'information de gestion de la supply chain.
- En Finlande, UPM Kymmene considère l'internet des objets comme étant la technologie présentant le plus d'opportunités grâce à la quantité d'information captée chaque jour. La solution permet d'accéder à des informations de mobilité dans l'usine, d'optimiser la logistique lors de la l'approvisionnement du bois et de réduire sa consommation énergétique.

Manufacturing Execution System (MES)

Description opérationnelle

Le Manufacturing Execution System est un système informatique dont les objectifs sont de collecter en temps réel les données de production issues des automates et de préparer les ordres de production planifiés dans un Enterprise Resource Planning (ERP). Ces données collectées permettent ensuite de réaliser des activités d'analyse telles que la traçabilité, le contrôle de qualité, le suivi de production, l'ordonnancement et la maintenance préventive et curative. Le MES permet l'optimisation des activités de production. Son utilisation conduit à un fonctionnement plus efficace de l'atelier de fabrication. Il se situe entre le niveau automatisme de l'usine et les systèmes de planification ERP. Il vise à assurer un lien entre l'ERP et le contrôle-commande en permettant l'exécution des fabrications.

Le MES est un réceptacle des données process qui peuvent être utilisées pour réaliser des traitements analytics. Néanmoins, il n'est pas un prérequis. Certains industriels utilisent des solutions cloud pour l'exploitation des données générées en production sans passer nécessairement par un MES.

Cas d'application

- Chez Novacap, la connexion du MES à SAP est en cours afin de donner une vision des stocks en temps réel.
- Chez International Paper, aux USA, le MES est mis en place depuis 2008.

Tableau de bord numérique

Description opérationnelle

Le tableau de bord numérique permet d'agrèger des données générées par les systèmes d'information, notamment en production pour pouvoir les traiter et les présenter sous forme de tableau de bord afin d'améliorer l'aide à la décision. La collecte des données est rendue possible grâce aux capteurs. Il permet de suivre en dynamique les indicateurs clés de performance dans un souci d'optimisation de la production ; c'est une évolution du management visuel qui fait évoluer le paradigme de responsabilisation selon lequel l'opérateur doit aller chercher l'information pour l'afficher dans des indicateurs. L'accent est mis, avec les tableaux de bord numériques, sur l'analyse de la donnée et la prise de décision.

Ce type de d'affichage met l'information à la disposition de tous et fait évoluer de plus en plus le chef d'équipe vers un rôle d'animateur de performance.

Il ne nécessite pas nécessaire l'utilisation de l'analytics. Il peut s'agir simplement d'un outil de visualisation numérisé pour faire du management visuel.

Cas d'application

- Chez Novacap, des tableaux de bords numériques sont déployés dans les ateliers comme support des réunions de production.

Maintenance 4.0

Description opérationnelle

La maintenance prévisionnelle est une maintenance conditionnelle fondée sur le franchissement d'un seuil prédéfini qui permet de donner l'état de dégradation du bien avec sa détérioration complète. Selon la norme NF EN 13306 X 60-319, il s'agit d'une « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». L'objectif est de savoir reconnaître les signes précurseurs de dégradations pouvant provoquer une défaillance du matériel. Des capteurs permettent de mesurer ces dégradations en analysant les variations de température, vibration, pression, dimension, position, bruit, etc. Elles peuvent être d'ordre physique, chimique, comportemental, électrique ou autre. Ces analyses doivent permettre d'intervenir au plus près de la période de dysfonctionnement du matériel. Les actions réalisées doivent permettre de minimiser la fréquence des interventions préventives.

Pour son implémentation effective, il est nécessaire de définir les éléments à surveiller, connaître la méthode de surveillance à appliquer, vérifier la possibilité d'implantation du dispositif, connaître la mesure de base, établir des seuils d'alerte, établir la périodicité de vérification, étalonner le capteur, inscrire la procédure dans le plan de maintenance préventive. Pour aller plus loin que la maintenance prévisionnelle fondée sur l'analyse vibratoire, la thermographie infra-rouge ou l'analyse d'huiles, il est nécessaire de réaliser un travail analytics permettant de définir les paramètres clefs à surveiller et leurs seuils.

Cas d'application

- Chez Novacap, un travail d'analyse de données est lancé afin de définir les paramètres clefs des équipements à surveiller dans un objectif de maintenance prévisionnelle.
- Allimand noue un partenariat avec une société experte sur la constitution de base de données de maintenance et dans le traitement de ces données. L'objectif est de proposer des services de télémaintenance prévisionnelle aux clients papetiers.
- BASF a développé une application qui a pour objectif d'optimiser la coordination entre maintenance et production. L'application est fondée sur des analyses de fonctionnement de pièces critiques des équipements de production tels que les compresseurs ou les échangeurs.

Maquette numérique

Description opérationnelle

Une maquette numérique est une représentation géométrique d'un produit ou d'un environnement réalisée sur ordinateur afin de l'analyser et de simuler des comportements. Elle permet notamment, dans les industries de process, d'optimiser la phase de conception et d'étude lors de l'implantation de nouveaux équipements au sein de l'usine.

Elle permet l'implication des opérateurs en les immergeant dans l'environnement de production, en amont de la construction de nouvelles installations pour identifier et anticiper sur les problèmes en amont de l'installation des équipements. Les systèmes immersifs de réalité virtuelle permettent de se projeter facilement sur un nouvel environnement de travail et de gagner en productivité et sécurité par la suite en ayant identifié les potentiels difficultés liées à l'implantation des équipements.

Cas d'application

- Chez Novacap, des formations sécurité des opérateurs sont réalisées sur base de maquettes numériques. Les nouveaux ateliers sont conçus virtuellement sous forme de maquette avant d'être soumis aux opérateurs afin qu'ils puissent critiquer et donner leur avis sur le plan envisagé.
- Arkema réalise de la modélisation des environnements de travail pour traiter avec les opérateurs des questions ergonomiques des postes de travail. Ils sont immergés virtuellement dans leur futur environnement de travail.
- Condat (chimie de spécialités) utilise un système immersif dans le cadre de la réalisation d'un nouveau site pour définir la bonne implantation des équipements et des cabines de contrôle des opérateurs.
- En Allemagne, BASF utilise des maquettes numériques pour réduire le temps de mise en service de ses usines.
- En Chine, Sinopec utilise un logiciel de modélisation 3D immersif pour modéliser une usine de polyéthylène à Maoming.

Jumeau numérique

Description opérationnelle

Le jumeau numérique est une représentation virtuelle exacte d'un processus de production. L'ensemble des équipements, leurs caractéristiques et leurs comportements sont intégrés dans le jumeau virtuel ainsi que les diagrammes de fonctionnement. L'utilisation de capteurs permet la collecte de données en temps réel qui permettent de mettre à jour le jumeau numérique.

L'objectif est de pouvoir gérer le suivi des équipements, tester des améliorations potentielles de process, tester de nouveaux programmes et de gagner du temps sur la mise en service d'améliorations.

Cas d'application

- La solution de Siemens, COMOS, est composée d'une base de données unique rassemblant l'ensemble des données collectées dans les systèmes d'information en place. L'outil est ensuite personnalisé pour le client. Le processus est décrit selon toutes ses caractéristiques (schéma fonctionnel du processus, schéma de procédé, schéma tuyauterie et instrumentation, schéma électrique...). De cette manière, toute modification des équipements, des procédés ou ajout peut être mis à jour dans la modélisation du jumeau numérique. Les spécifications de production peuvent également être mises à jour dans l'outil. Par exemple en cas de choix d'un nouvel appareil ou de redéfinition d'un point de mesure, la modification est réalisée dans COMOS qui met ensuite à jour l'automatisation du contrôle-commande. Le contrôle-commande de l'outil de production fait partie intégrante du jumeau numérique.
- Solvay mène un chantier pour la plateforme industrielle de Solvay/Butachimie visant à basculer son système de contrôle commande actuel vers un nouveau système. Ce projet d'envergure lancé en 2010 a été voulu pour faire face à l'obsolescence du système. Pour assurer la migration sans affecter le rythme continu de production, un outil de simulation numérique a permis de contrôler virtuellement l'intégralité du système de contrôle commande avant la bascule vers l'installation réelle.

Simulation des procédés

Description opérationnelle

Les simulateurs de procédés sont des outils qui permettent d'établir les bilans de matière et énergie sur les procédés. Les données nécessaires à une simulation doivent permettre de définir le système matériel tels que les constituants, le profil thermodynamique et les réactions chimiques, la structure du procédé et les paramètres de dimensionnement et de fonctionnement des appareils.

Cas d'application

- BASF en partenariat avec IBM a installé un ordinateur HPE Apollo 6000 au siège de l'entreprise à Ludwigshafen en Allemagne. Cet ordinateur est prévu pour développer et mettre en œuvre de la modélisation complexe et de la simulation de procédés.
- ProSim est un fournisseur français de logiciels de simulation de procédés dans le domaine du génie chimique, afin de réaliser le scale-up des procédés du laboratoire à l'unité industrielle en passant par les installations pilote.

Pilotage automatisé d'installations

Description opérationnelle

Cette solution est un centre d'opération et d'optimisation à distance disposant d'une vision globale de plusieurs lignes de production ou sites. Il permet de piloter à distance la production des différents sites. De cette manière, la production peut être adaptée à la demande clients. De plus, les flux de production des unités sont adaptés en temps réel aux besoins clients. Cette solution est rendue possible par un big data continu réalisé sur l'ensemble des sites. Les algorithmes développés pour ce type de solutions nécessitent une quantité de données de production remontant sur plusieurs années. L'analytics industriel est une brique technologique permettant la mise en œuvre de ce type de solution.

Ce type de solution implique la création de nouveaux métiers : les pilotes en temps réel qui sont en contact permanent avec les sites et les analystes qui étudient les données de production pour chercher à optimiser la production, la maintenance et les consommations énergétiques des sites.

Cas d'application

- Le cas emblématique de cette solution est le centre d'opération à distance d'Air Liquide en région lyonnaise qui permet de piloter la production de 22 unités du groupe en France. Le centre a été inauguré début 2017 dans le cadre du projet Connect. Ce projet représente un investissement de plus de 20 M€ et a impliqué une dizaine de *start-up*. Le pilotage central pilote la production et la consommation énergétique, alors que les équipes sur site se concentrent sur la fiabilité, la sécurité, et la disponibilité des équipements.

Automatisation des activités logistiques

Description opérationnelle

Les activités logistiques sont des activités encore souvent manuelles, notamment dans la chimie de spécialités avec la gestion de conditionnements qui ont une forte variété.

L'automatisation des activités de bout de ligne offre un potentiel de gains de productivité main-d'œuvre, de même que l'utilisation d'AGV (Automated Guided Vehicles) pour la logistique interne. Des solutions adaptées de manutention existent pour le papier et la chimie.

Enfin, le volume de données produites par les équipements – matériels et logiciels – connectés dans l'entrepôt (chariots, racks, convoyeurs, WMS,...) est encore largement sous-exploité et doit permettre de travailler sur l'optimisation de ces activités.

Cas d'application

- Plusieurs industriels français de la chimie et du papier étudient l'automatisation des activités logistiques mais avec des interrogations sur le niveau de flexibilité et l'acceptabilité sociale.
- Chez Golbey, les chariots élévateurs ont été remplacés par des chariots autoguidés par laser (Assystem).

Fabrication additive

Description opérationnelle

La fabrication additive désigne les procédés de fabrications par ajout de matière, la plupart du temps assistés par un ordinateur.

Deux cas d'usages peuvent être mentionnés :

- L'impression de matériels pour laboratoires à façon ;
- La fabrication de pièces détachées pour réduire les stocks, les délais et gérer l'obsolescence.

Cas d'application

- Pas de cas identifiés dans les secteurs de l'étude.

Utilisation de drones

Description opérationnelle

L'utilisation de drones est une solution permettant un gain de temps, une réduction des coûts et plus de sécurité pour les opérateurs. La capacité à couvrir une distance importante est une source de gain de temps importante en surveillance de sites de grandes tailles et activités d'inspection. Leur utilisation évite également d'exposer des opérateurs ou techniciens à des environnements dangereux ou difficilement accessibles. Ils peuvent être aussi utilisés dans les entrepôts avec réalisation d'inventaire en scannant les éléments stockés.

L'utilisation de drones est envisageable également pour améliorer une offre en apportant du service autour des produits.

Cas d'application

- Exxon Mobil utilise des drones dans ses raffineries aux USA pour inspecter les équipements avec des opérations de maintenance.
- Socomore (chimie de spécialité - spécialiste du traitement et de la protection de surface pour l'aéronautique) a proposé à ses clients un service de drones pour valider le décapage des ailes d'avion. Grâce à un partenariat avec une *start-up*, une opération qui prenait deux à trois heures avec 5 opérateurs pour inspecter les ailes ne prend désormais plus que 10 minutes grâce à l'utilisation de drones.

Plateforme collaborative externe

Description opérationnelle

On peut distinguer deux natures d'applications de plateformes : les plateformes à visée sectorielle et celles qui sont le support d'une offre client. Les plateformes à visée sectorielle ont pour objectif de mettre en relation des acteurs d'un même écosystème pour la conception ou l'innovation produits ou la gestion des stocks et de la distribution. Les plateformes visant à supporter une offre client ont pour objectif la réalisation de transaction. Ces solutions ne sont pas encore très matures puisqu'elles nécessitent un partage d'information à l'extérieur de l'entreprise avec fournisseurs et client. Les informations partagées peuvent porter sur des données client pour mieux concevoir les produits ou des données de stocks pour mieux gérer les approvisionnements et prévenir les ruptures de stocks.

Cas d'application

Peu de cas d'application ont pu être constatés dans les secteurs de la chimie ou du papier-carton pour la traçabilité. Un exemple du secteur de l'agroalimentaire est présenté ci-après.

- Dédiée à l'ensemble des acteurs de la chaîne agroalimentaire et logistique, la plateforme de traçabilité GS1 France constitue l'espace numérique où les informations de traçabilité sur les produits peuvent être assemblées et partagées pour servir les besoins d'optimisation de la supply-chain et d'information des consommateurs. Le fonctionnement de la plateforme de traçabilité s'appuie sur le standard par événement EPCIS (Electronic Product Code Information Service) qui permet de tracer le cycle de vie complet d'un produit (de la fourche à la fourchette). L'objectif de cette plateforme est de garantir un accès ouvert et sécurisé aux données. Elle permet :
 - D'enregistrer en continu et en temps réel les informations de traçabilité en provenance de diverses sources ;
 - D'assurer la gestion des droits d'accès permettant à un tiers identifié et autorisé de rechercher des informations sur le cycle de vie du produit ;
 - De s'interfacer avec des applications pour servir les différents usages des données de traçabilité.

L'intégration des données est faite par les « titulaires » (amont et exploitants agricoles, fabricants, partenaires logistiques...) qui enregistrent leurs données sur la plateforme et décident quels partenaires peuvent y accéder. Ensuite en fonction des droits définis par les titulaires, les données (privées, partagées ou publiques) sont accessibles aux différents utilisateurs (professionnels, régulateurs, consommateurs...) qui peuvent les exploiter *via* leurs applications connectées.

- BASF a lancé Magalis, une plateforme en ligne, qui aide les agriculteurs à améliorer la gestion des cultures. Le nouveau portail digital développé par Bayer pour ses clients fournit aux agriculteurs et aux négociants des conseils et des informations actualisées.
- Bayer a développé un nouveau bouchon d'étanchéité afin de protéger les utilisateurs contre la contrefaçon de produits de protection des cultures. En scannant le code avec l'application interactive pour smartphone, l'utilisateur obtient des informations concernant l'authenticité du produit.
- Les clients de VWR (distributeur de produits chimiques) ont un accès totalement personnalisé grâce à un compte en ligne et bénéficient d'une tarification personnalisée. Il n'y a plus de catalogue générique, les offres sont personnalisées selon le profil du client. Pour pouvoir commander en ligne sur le site VWR, il faut être déjà identifié dans le système et avoir un compte. Cela permet aux professionnels d'avoir accès à l'ensemble de la documentation dans leur espace personnel. Néanmoins, il n'y a pas encore de personnalisation client à proprement parler. L'entreprise utilise Google Analytics comme tableau de bord, ce qui leur permet de mieux comprendre les comportements utilisateurs grâce aux actions des actions lorsqu'ils sont connectés à leur espace personnalisé.

Blockchain

Description opérationnelle

La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations sans organe de contrôle. Techniquement il s'agit d'une base de données distribuée, dont les informations envoyées par les utilisateurs et les liens internes à la base sont vérifiés et groupés à intervalles de temps réguliers en blocs. L'ensemble est sécurisé par cryptographie et formant ainsi une chaîne. Une chaîne de blocs est donc une base donnée distribuée qui gère une liste d'enregistrement protégés contre la falsification ou la modification par les nœuds de stockage. C'est un registre distribué et sécurisé de toutes les transactions effectuées depuis le démarrage du système.

La solution peut donc avoir deux apports essentiels pour l'industrie, la traçabilité et la sécurisation des flux financiers. La blockchain étant un registre partagé et immuable, elle permet de garantir la provenance des produits, de leurs matières premières, les données liées à leur cycle de vie. Des logiciels et des solutions apparaissent visant à prendre en compte l'ensemble de la supply-chain pour rechercher l'optimum économique. La blockchain permettrait de tout tracer et de remonter les données dans des logiciels d'optimisation. De plus, l'utilisation de smart contracts permettraient de sécuriser les flux financiers entre les industriels et leur client. Il s'agit de programmes autonomes qui une fois démarrés, exécutent automatiquement des conditions définies au préalable et inscrites dans la blockchain. Chaque acteur a un identifiant unique dans la blockchain qui lui permet de se connecter grâce à un login sécurisé qui lui donne un rôle et des habilitations.

Cas d'application

- Dans l'agroalimentaire, la blockchain peut renforcer la transparence et accélérer l'identification de la source des communications. Il s'agirait d'un suivi sur l'ensemble de la chaîne logistique en inscrivant les informations clés de chaque étape du processus de fabrication d'un produit alimentaire, de la provenance des matières premières, aux modalités de distribution en passant par les conditions de production. L'enseigne Carrefour a testé ce dispositif sur la filière du poulet fermier d'Auvergne jaune filière qualité Carrefour. Le système permet à chaque partenaire de renseigner ses données, les blocs sont inscrits à chaque étape de production du lot des poulets : du couvoir, élevage, alimentation, transformation et stockage du produit.
- La filière chimie qui est en amont de l'industrie pharmaceutique pourrait être impactée dans les années à venir. Des réflexions sont en cours pour l'enregistrement des empreintes de chaque étape de la chaîne de fabrication et distribution d'un médicament.
- La traçabilité est un enjeu essentiel de la filière et en particulier de VWR (distributeur de produits chimiques). En effet, leurs clients sont notamment des organismes de contrôle et de recherche qui doivent assurer un suivi de l'historique des produits au cas où ils seraient mis en cause pour des contrôles défaillants. Il n'y a aujourd'hui pas de solution technologique permettant de réaliser cette traçabilité, cela passe généralement par des outils développés en interne. Par exemple, pour s'assurer de la qualité des matières premières à l'entrée et des produits à la sortie un système de contrôle interne a été mis en place. Concernant la blockchain, il n'y a pas d'étude menée sur le sujet aujourd'hui.

Marketplace

Description opérationnelle

Cette solution est un cas d'usage de la plateforme externe nécessitant d'être traité à part entière. Le concept de marketplace ou place de marchés était initialement un site internet rassemblant des acheteurs et des fournisseurs. Désormais une marketplace désigne l'espace que des sites marchands vont réserver à des vendeurs indépendants en prenant une commission sur les ventes. Généralement les marketplaces B2B peuvent prendre 3 modèles différents. Soit privée lorsqu'elle est mise en place par une grande entreprise, soit verticale lorsqu'elle est mise en place pour un secteur d'activité, soit à l'image de celles que l'on trouve en B2C.

Cas d'application

- Le phénomène commence à apparaître dans d'autres secteurs : Inspiré d'Amazon, Outiz, enseigne de Saint-Gobain Distribution Bâtiment, lance une marketplace ouverte à tous les vendeurs de produits bâtiment et bricolage. La place de marché est ouverte à tous les vendeurs partenaires. Des industriels, distributeurs spécialisés ou site marchand peuvent commercialiser leurs produits moyennant une commission variant selon la marge réalisée sur le produit. Ils doivent assurer la facturation et la livraison, Outiz n'étant qu'un intermédiaire de vente.
- Pour Bostik, les marketplaces pourraient permettre de massifier les achats. Le référencement est un sujet important. Pour les acteurs B2B2C en aval de la chaîne de valeur, le digital est beaucoup plus impactant pour la dimension commerce que pour les opérations industrielles.

E-learning

Description opérationnelle

L'e-learning ou formation en ligne désigne l'ensemble des solutions et moyens permettant l'apprentissage par des moyens électroniques. La formation en ligne inclut de cette façon des sites web éducatifs, la téléformation, l'e-training ou le recours à des outils de simulation. Elle peut s'appliquer à la formation des nouveaux arrivants dans les entreprises pour donner une formation de bases complémentaires aux formations pratiques et aux compagnonnages. Elle peut également servir pour des formations de remises à niveau ou des remises à niveau lors d'évolution des outils de production. Les campagnes de sensibilisation peuvent également être réalisées via ce média.

Cas d'application

- Plusieurs entreprises rencontrées souhaitent développer de manière plus importante le e-learning afin de mieux contrôler la formation métier et de gagner en durée de formation.

Réalité augmentée et virtuelle

Description opérationnelle

La réalité augmentée est la superposition de la réalité et d'éléments calculés par un système informatique en temps réel. Cette technique est utilisée par exemple pour faciliter des opérations de maintenance en superposant des informations sur un environnement réel lors de la visite ou le démontage d'un équipement.

La réalité virtuelle est une technologie qui simule la présence physique d'un utilisateur dans un environnement généré artificiellement par des logiciels, environnement avec lequel l'utilisateur peut interagir. Cette technique va être utilisée en formation ou en analyse de nouvel environnement en phase d'avant réalisation.

Cas d'application

- L'outil COMOS Walkinside de Siemens permet la modélisation d'une réalité virtuelle et l'utilisation d'avatars dans cet environnement virtuel. Certains de leurs clients ont parfois numérisé leur site de production par photogrammétrie que Siemens peut récupérer pour les modéliser et les intégrer à COMOS grâce notamment aux systèmes de reconnaissance d'image.

Rondes digitales et outils de mobilité

Description opérationnelle

En production, les opérateurs disposent de tablettes ou de téléphones mobiles pour leurs rondes. Ces équipements permettent de mutualiser l'ensemble des outils habituellement utilisés tels que les talkiewalkies, les outils de bureautiques, les postes de travail fixes et les formulaires papiers. Grâce à une tablette, l'opérateur peut de prendre en photos, saisir directement dans des applications les informations à relever, être en relation avec d'autres fonctions de l'entreprise, archiver automatiquement les données, visualiser les données récoltées et historiques et gérer en direct les paramétrages des machines.

Cas d'application

- Total a déployé une solution de mobilité digitale dans ses raffineries.

Chatbot

Description opérationnelle

Un chatbot est un robot logiciel pouvant dialoguer avec un individu par le biais d'un service de conversations automatisées effectuées en grande partie en langage naturel. Le chatbot utilise à l'origine des bibliothèques de questions et réponses, mais les progrès de l'intelligence artificielle lui permettent de plus en plus « d'analyser » et « comprendre » les messages et d'être doté de capacités d'apprentissage liées au machine learning.

Ils peuvent avoir une logique marketing relationnel ou une vocation support client en avant-vente ou après-vente. La prise de commande peut même se faire directement par le chatbot. L'usage des chatbots est encore en partie expérimental car il présente un certain risque pour les marques en fonction des dérapages sémantiques possibles et des manipulations ou détournements également envisageables de la part des internautes. Les progrès dans le domaine sont cependant très rapides.

Cas d'application

- Le chatbot est envisagé pour la relation client sur les offres techniques proposées. Les difficultés autour de l'utilisation de cette technologie pour la filière sont liées à la complexité technique des produits considérés. À titre d'illustration, VWR disposent d'un million de références produits pour 6 000 fournisseurs.

- Shell a développé une solution chatbot (Ethan et Emma) depuis 2014 pour répondre à des questions logistiques ou des propriétés techniques formulées par ses clients, avec les résultats suivants :
 - 40 % de réduction en volume des appels aux conseillers ;
 - 74 % de problèmes résolus ;
 - 97 % de questions traitées par l'intelligence artificielle.

Plateforme collaborative interne

Description opérationnelle

Il s'agit d'un espace de travail virtuel. C'est un outil qui permet aux salariés d'échanger des données de production ou de logistique avec pour objectif l'identification de synergies au sein de l'entreprise ou partager les meilleures pratiques. Cette solution a un impact fort sur la manière de travailler puisqu'il tend à plus de collaboration et de partage d'information entre les différentes équipes d'une entreprise. Elle favorise également l'innovation.

Ce type de plateforme peut être ouverte sur l'extérieur de l'entreprise afin de partager des bonnes pratiques ou mener des projets en commun (monde académique, *start-up*, partenaires,...).

Cas d'application

- Chez International Paper, la mise en place d'un réseau social d'entreprise permet de consulter les idées d'améliorations de collègues et donner la possibilité aux salariés de poster des questions. L'utilisation d'une plateforme permet de suivre les actions en cours, en 6 mois, il y a eu 70 idées à l'étude.
- Lancé en 2014, Slack a depuis conquis de nombreuses entreprises, des plus petites structures aux plus grandes. Sa messagerie instantanée contraste avec les e-mails. Elle est plus interactive, amusante et surtout moins formelle. L'outil dispose également d'un chatbot.

Méso-réacteurs

Description opérationnelle

Les méso-réacteurs sont des outils issus du développement de la technologie des microstructures. Ces équipements permettent de synthétiser et de produire des composés chimiques. Fondés sur la micro-fluidique, ces matériels sont souvent utilisés en mettant en parallèle des unités réactionnelles élémentaires. Cela permet d'avoir des capacités de production importante.

Ils sont fondés sur un principe de réactions en continu permettant d'avoir un plus haut gradient de température et de pression par rapport aux réacteurs classiques. Le transfert thermique est ainsi plus élevé et la surface d'échange augmente.

L'informatique et l'intelligence artificielle permettent le pilotage et le traitement des données des méso-réacteurs. La réaction étant en flux continu, le système est composé de pompes à injection des réactifs et de pompes de liquides caloporteurs. Des capteurs *in situ* et en ligne sont mis en place pour mesurer la température et la pression.

Cette technologie présente un certain nombre d'avantages par rapport à la chimie classique en réacteurs (batch process) :

- Mise à l'échelle (scale-up) rapide et sans modifications,
- Rendements de production plus élevés,
- Coûts de production globaux réduits,
- Augmentation des vitesses de réaction,
- Augmentation de la sécurité,
- Augmentation de la qualité des produits,
- Diminution des déchets et sous-produits,
- Diminution du besoin/coût énergétique,
- Mise sur le marché des produits plus rapide.

Cas d'application

- Les réactions possibles par méso-réacteurs sont nombreuses et couvrent pratiquement la totalité des réactions possibles : nitrations, oxydations bromations, chlorations, alkylations, grignards et autres organométalliques, hydrogénations, polymérisations, etc... De plus, les méso-réacteurs donnent accès à des produits ayant des dimensions et des compositions différentes :
 - Nanoparticules métalliques,
 - Nanoparticules polymériques,
 - Émulsions simples et encapsulées allant jusqu'aux émulsions multiples.

Simulation de formulation

Description opérationnelle

La simulation de formulation repose sur la dynamique moléculaire qui est une méthode permettant de simuler l'évolution temporelle (dynamique) d'un système moléculaire. Elle repose généralement sur l'utilisation de la relation fondamentale de la dynamique (ou loi de Newton). Elle permet également d'évaluer les interactions intermoléculaires à courte et longue distances (potentiels à deux corps, forces de Coulomb, etc.), influençant les formulations.

Pour accélérer la conception de nouveaux matériaux, il est fondamental de savoir les modéliser et simuler leurs comportements et leurs interactions. Plus le système étudié comporte d'éléments, de molécules, plus le nombre d'interactions augmente selon une loi de type n^2 . L'utilisation d'approches sous forme de "cellules" permet de simplifier certains calculs mais la complexité des mélanges requiert tout de même un nombre et un temps important de calculs.

Les systèmes de modélisation sont encore limités par les capacités de calcul des ordinateurs classiques. C'est pourquoi ce domaine de la chimie s'est orienté vers les ordinateurs quantiques. À la différence d'un ordinateur classique fondé sur des transistors qui travaille sur des données binaires, le calculateur quantique travaille sur des qubits dont l'état quantique peut posséder plusieurs valeurs.

Le domaine de l'intelligence artificielle auquel a recours la simulation de formulation est le domaine des algorithmes de simulation quantique pouvant reproduire dans un ordinateur les phénomènes de la mécanique quantique. Il devient alors possible de simuler l'interaction entre les atomes dans des molécules pour la création de nouveaux matériaux.

Cas d'application

- La dynamique moléculaire est utilisée dans l'industrie pharmaceutique, pour développer de nouveaux médicaments. La modélisation moléculaire permet notamment d'étudier l'interaction entre deux molécules. La première molécule peut-être un médicament, et la seconde sa cible thérapeutique. Grâce à la dynamique moléculaire et aux méthodes de « docking », il est possible d'étudier cette interaction entre médicaments et cibles thérapeutiques, et même d'effectuer ce qui est appelé un « criblage virtuel » pour trouver de nouvelles molécules actives.
- Le groupe Michelin et l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand ont créé en 2017 un laboratoire commun de recherche public-privé, SimatLab, dédié à la modélisation des matériaux polymères et dont le but est de démontrer le caractère prédictif du numérique pour la conception des matériaux de rupture.
- IBM a développé en 2017 un ordinateur quantique permettant de simuler la structure moléculaire de l'hydrure de béryllium. Il s'agit de la molécule la plus complexe ayant subi un traitement de simulation quantique total.
- La simulation de formulation est aussi un sujet pour Arkema comme la plupart des sujets où il est question de modélisation. L'objectif est de gagner du temps sur le pilotage industriel voir de le supprimer parfois. Les outils de simulation constituent des leviers très important. Dans ce domaine la complexité des process de l'industrie chimiques nécessitent un lien fort avec l'IT et le recours aux brevets comme arme commerciale. Il s'agit d'une transformation de l'usage de la propriété industrielle pour gagner du temps.

Biologie de synthèse et catalyse biologique

Description opérationnelle

La biologie de synthèse est une science émergente à la frontière de la biologie, des mathématiques, de l'informatique, de la physique et de la chimie. Elle s'appuie sur les dernières avancées dans le domaine des biotechnologies, en particulier sur le séquençage et la synthèse d'ADN et sur les sciences de l'ingénieur pour dérouler une procédure en étapes successives de modélisation mathématique, simulation, informatique, réalisation biologique et validation.

Les enzymes sont utilisées dans l'industrie quand des catalyseurs spécifiques sont nécessaires. Une enzyme est une molécule (protéine ou ARN dans le cas des ribozymes) permettant d'accélérer jusqu'à des millions de fois les réactions chimiques du métabolisme se déroulant dans le milieu cellulaire ou extracellulaire sans modifier l'équilibre formé. Les enzymes agissent à faible concentration et elles se retrouvent intactes en fin de réaction : ce sont des catalyseurs biologiques (ou biocatalyseurs). Les biocatalyseurs sont plus sélectifs par rapport à un catalyseur standard ce qui est très intéressant pour le domaine pharmaceutique où l'obtention du bon mélange racémique est essentiel.

L'utilisation d'un biocatalyseur nécessite de retravailler les voies biologiques qui demandent des moyens financiers importants. D'autre part, le processus d'une biocatalyse peut durer une semaine lorsqu'elle ne prend qu'une journée en chimie classique. Les étapes de fermentation puis extraction puis purification sont longues. En revanche, les environnements dans lesquels des réactions ont lieu avec des biocatalyseurs sont plus douces, avec des pressions moins fortes et des températures faibles, et avec un impact environnemental faible.

Le recours à des bases de données spécifiques de nomenclature et de classification des réactions catalysées par des enzymes permet de réduire les temps de développement des nouveaux produits.

L'Allemagne et le Japon sont en pointe dans le domaine de la catalyse biologique. Hormis Lesaffre, dans la levure, la France ne connaît pas d'entreprise phare dans le domaine.

Cas d'application

- Global Bioénergies a développé un procédé de conversion de ressources renouvelables en hydrocarbures par fermentation. La société réalise la fabrication biologique d'isobutène, une des briques importantes de la pétrochimie.
- Les États-Unis sont en avance sur le sujet mais l'Europe et particulièrement la France ont une volonté de se positionner dans ce domaine. Genopole est un groupement de laboratoires et d'entreprise spécialisés en biologie de synthèse en France.
- L'industrie des détergents est actuellement la plus grande utilisatrice d'enzymes industrielles, employant protéases, lipases, amylases et cellulases surtout pour la production. Ces enzymes décomposent rapidement ou libèrent les souillures qui normalement ne sont éliminées qu'à des températures beaucoup plus élevées ou par l'action de plus grandes quantités de détergents chimiques sur une période plus longue.
- BRENDA¹⁹ est une banque de données sur les enzymes. Elle est entretenue et développée par l'Institut de biochimie de l'Université de Cologne. Les données sur les fonctions enzymatiques sont extraites directement de la littérature primaire. Des vérifications formelles ainsi que des vérifications de cohérence sont effectuées par des programmes informatiques. L'utilisation de Brenda est accessible et gratuite. Des extensions de BRENDA, FRENDA (FullReference ENzyme Data), AMENDA (Automatic Mining of ENzyme Data), DRENDA (Disease-Related ENzyme information Database) et KENDA (Kinetic ENzyme Data) sont également gratuites pour des organisations à but non lucratif. Les organisations à but lucratif ont besoin d'avoir une licence à acquérir auprès de BIOBASE pour accéder à ces bases de données.

Nouveaux produits biosourcés

Description opérationnelle

Les produits biosourcés peuvent se substituer à des produits pétrosourcés ou bien proposer de nouvelles molécules permettant de nouvelles applications. Dans le cas des substitutions, deux types de conversions sont possibles : l'adaptation du chimiste si la molécule reste la même, l'adaptation de l'outil du client si la formule évolue ; dans les deux cas des évolutions de l'outil industriel sont nécessaires et peuvent être d'un coût élevé. La chimie végétale permet notamment d'obtenir des dérivés organiques à chaînes longues, en oléochimie, avec

¹⁹ Vraunschweig Enzyme Database

l'obtention de tensio-actifs particulièrement intéressants. Ces mêmes composés peuvent aussi servir de carburant ou de produits de synthèse, avec ou sans transformation.

Cas d'application

- Roquette et DSM ont créé une unité de production commune (Reverdia), en 2012, d'acide succinique de 10 000 T/an – sur un marché de 40 000 T/an. L'acide succinique est un intermédiaire chimique utilisé dans la fabrication de résines ou de pigments. Le processus de fabrication est fondé sur l'utilisation d'amidon avec un procédé de fermentation d'une efficacité énergétique supérieure de 40% par rapport à la méthode traditionnelle.
- Solvay développe depuis plusieurs années, avec une extension forte depuis 2013, la production de dérivés de guar (plante cultivée en Inde) ; ces produits ont des propriétés gélifiantes, nécessaires à l'extraction du pétrole et gaz, démêlantes pour les après-shampoings et pénétrantes et anti-dérives pour les produits de protection des plantes.
- Arkema décide, fin 2017, la création d'une unité de production de polyamide 11, doublant ainsi ses capacités mondiales. Le polyamide 11 est issu de l'huile de ricin et offre de nombreuses applications dans l'automobile, l'impression additive et l'électronique. Ce matériau n'est pas synthétisable de manière pétrosourcée.
- Pour Bostik, la chimie verte fait face à un souci de valorisation lié aux surcoûts de production. Certains produits de base sont biosourcés et sont développés en tant que tels. Par contre, Bostik cherche plutôt à suivre les réglementations plutôt que développer de nouveaux produits. L'entreprise va plutôt chercher à supprimer les composants toxiques tels que les métaux lourds plutôt que de développer de nouveaux produits. Bostik suit particulièrement les produits surveillés par la santé et réglementés. Les principales difficultés rencontrées autour de la chimie verte est de trouver les matières premières de façon fiable. Les conditions économiques sont généralement supérieures aux produits pétrosourcés. De plus, la variabilité des matières premières rend difficile la production. Les industriels du secteur ont pu être échaudés par les investigations réalisées notamment dans le domaine des peintures n'ayant pu aboutir principalement à cause de la variabilité industrielle et de la variabilité des clients. Les besoins de reconception de l'outil industriel pour passer à la chimie verte peuvent être importants. Néanmoins, dans le cas d'un industriel ayant la maîtrise complète de la chaîne de valeur, la capacité à garantir la qualité grâce à la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne pourrait permettre le développement de cette chimie.

Bioraffineries

Description opérationnelle

Les procédés de bioraffinage concernent essentiellement les usines de pâtes à papier en optimisant l'utilisation des co-produits issus de la transformation du bois : la lignine et la liqueur noire, les polyphénols, les rejets fibreux.

- Récupération des rejets fibreux pour transformation en énergie : différents procédés existent permettant de récupérer en énergie des co-produits dont la méthanisation biologique des boues ;
- Récupération de la liqueur noire pour gazéification et produire de l'énergie et des carburants liquides et autres produits chimiques comme par exemple du méthanol ;
- Récupération des polyphénols pour produire de la térébenthine mais aussi des composés pour des applications cosmétiques avec des propriétés antioxydantes.

Cas d'application

- L'usine de Rayonier Tartas : usine de pâte à papier au bisulfite initialement, le site de Tartas a investi, sur les quinze dernières années, plus de 100 M€ pour se convertir intégralement en bioraffinerie. L'usine commercialise des celluloses de haute pureté destinée à la chimie, à 100% de sa capacité de production depuis 2011, mais également d'autres composés extraits du pin maritime dont les lignosulfonates, et depuis peu de l'électricité "verte" vendue à EDF grâce à une turbine démarrée en juin 2012. Cette conversion a été menée pour faire face à une concurrence d'usines de pâtes du même type mais aux capacités beaucoup plus importantes installées dans les pays émergents.

- Le développement de la production d'aliments pour poissons d'élevage à partir des protéines contenues dans la lignocellulose (dans le cadre du projet européen Sylfeeld) avec un démonstrateur sur le site en 2018. En cas de succès de ce démonstrateur, l'investissement prévu est de plus de 100 millions d'euros dans une bioraffinerie qui traitera chaque année 100.000 tonnes de matière sèche.
- Le projet « Le bois santé », cofinancé par le Fonds unique interministériel (FUI) pour développer des applications pharmacologiques à partir de poudre de bois enrichie en lignane. En partenariat avec Harmonic Pharma, spécialiste de la polypharmacologie, des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes de molécules provenant de résineux ont été découvertes. Les recherches ont déjà abouti à deux brevets dans le traitement des affections respiratoires et ouvrent des débouchés dans le secteur des compléments alimentaires et des produits anti-âge. Mais ce potentiel reste à concrétiser.
- Côté étranger, les investissements des groupes finlandais sont d'une grande dimension capitalistique:
 - Metsa Group investit 1 200 M€ dans une bioraffinerie pour produire de la pâte, des biocarburants, des biogaz, de l'acide sulfurique, de l'essence de térébenthine.
 - Fennpulp investit 1 400 M€ dans une bioraffinerie pour produire de la pâte, des bioproduits et 1TWh de bioélectricité en utilisant des procédés en partie pilotés par intelligence artificielle.
- La chimie verte est un sujet auquel Golbey s'intéresse depuis 2009. L'entreprise a des sous-produits qu'elle pourrait valoriser pour développer de nouveaux business et s'ouvrir à de nouveaux marchés. Il y a un projet de bioraffinerie en Australie. De plus le groupe a un projet de raffiner du bois pour produire de la nourriture animale. Pour cela l'entreprise a besoin d'échanger avec une scierie pour utiliser les sous-produits issus de la scierie. L'objectif est de faire venir une scierie dans la grappe. La production de sucre pour l'industrie chimique est également une piste de réflexion.

Méthanisation

Description opérationnelle

La méthanisation est un procédé naturel de dégradation de la matière organique par des bactéries, en l'absence d'oxygène, produisant un biogaz composé de méthane et de dioxyde de carbone. Cette réaction produit également un résidu, appelé digestat, qu'il est ensuite possible de valoriser en tant que fertilisant pour l'agriculture. Il existe plusieurs types de méthanisation :

- la méthanisation « à la ferme » ou méthanisation agricole : portée par un agriculteur ou un groupement d'agriculteurs. Ce sont majoritairement les effluents et substrats agricoles qui sont utilisés ;
- la méthanisation « centralisée » ou « territoriale » : réalisée par des unités de grande taille, traitant des effluents agricoles en minorité et davantage de déchets du territoire ;
- la méthanisation en station d'épuration des eaux usées : traitant les boues résiduelles d'épuration des eaux usées urbaines ;
- la méthanisation industrielle, essentiellement dans les secteurs de l'agro-alimentaire, la chimie et la papeterie;
- la méthanisation des ordures ménagères, ces projets sont conduits par les collectivités ou des entreprises ou syndicats spécialisés dans la gestion des déchets ;
- la production spontanée de biogaz dans les installations de stockage de déchets (décharges).

Cas d'application

- L'usine de Norske Skog Golbey : objectif de 25% d'EBITDA hors cœur de métier d'ici 2020. L'usine s'est dotée d'unités de production de biométhane à partir des effluents pour rachat par un distributeur d'énergie.
- La valorisation des sous-produits est un sujet des usines françaises de WEPA. L'entreprise travaille avec Suez et Veolia sur ce sujet pour la méthanisation ou le compostage.
- L'énergie verte à partir de la biomasse est un sujet porteur. L'usine de Golbey possède deux unités de production de biogaz à partir des effluents liquides. Le procédé de fermentation à partir du biométhane est injecté directement dans le réseau avec une obligation de l'État de racheter ce qui est produit. L'entreprise a réalisé un investissement de 7M€ pour un ROI entre 4 et 5 ans. C'est un projet d'énergie verte accompagné par le gouvernement. Il y a néanmoins un risque, il n'y a pas de garantie pour le prix d'achat ou d'accompagnement dans la démarche.

Papier et carton connecté

Description opérationnelle

L'utilisation du papier comme substrat pour l'impression de circuit électronique est le résultat de recherches menées depuis le début des années 2000. Le papier est utilisé comme un substrat conventionnel de type résine sur lequel sont imprimés des composants électroniques par flexographie, offset ou impression numérique.

L'intérêt de la solution papier est de plusieurs ordres : coût, recyclabilité, souplesse, encombrement faible, stabilité à haute température lors de la dépose d'éléments électroniques.

La complexité de la solution réside essentiellement dans des technologies non papetières - les techniques d'impression, les encres et la miniaturisation de composants – avec lesquelles l'industrie papetière doit interagir dans ses efforts de R & D.

Cas d'application

- Des projets prometteurs sont menés, comme le projet ANR « Stick it » mené actuellement avec le CTP, TB l'Institut Mines Telecom - Telecom Bretagne, IMEP LAHC Institut Polytechnique de Grenoble-INP et TCHR Technicolor Connected Home Rennes qui vise à développer une nouvelle technologie faible coût dédiée à la conception de systèmes antennaires et d'interconnexion 2D/3D sur matériaux flexibles – dont le papier - (les applications visées concernent principalement les équipements sans fil des réseaux domestiques).
- PowerCoat@ALIVE développé par Arjowiggins (France) : un substrat papier permettant la réalisation de motifs de circuits électroniques, de puces RFID (radio frequency identification), de fonctionnalités NFC (Near Field Communication ou communication en champ proche). Un avantage qui permet des solutions recyclables, pliables,...et qui ouvre le champ de l'internet des objets au papier.
- Pot de fleur connecté par VTT (Technical Research Centre of Finland): capteurs d'humidité biodégradables réutilisables par exemple pour piloter l'arrosage de plantes en fonction d'informations météorologiques et des besoins de la plante - une démonstration de la capacité du papier à intégrer des capteurs biodégradables pour des applications connectées.
- Emballage alimentaire connecté par Stora Enso : boîtes alimentaires cartons intégrant une puce RFID permettant une connexion avec les informations contenues dans le smartphone du client afin de les prévenir des éventuelles allergies possibles en fonction de la composition du contenu.
- L'emballage connecté n'est pas encore une réalité mais devrait être un sujet d'avenir. Des recherches sont actuellement menées sur le sujet. Allimand n'est pas acteur de ces recherches mais si des industriels les sollicitaient pour répondre à des besoins de codéveloppement et d'industrialisation de la production de nouvelles machines.
- Il n'y a pas encore de réflexion sur les emballages ou produits connectés chez Bostik. La réflexion porte plutôt sur la connexion à l'utilisateur final *via* une application smartphone par exemple.
- Les emballages connectés pour les réassorts seraient très intéressants mais ce n'est pas encore d'actualité. Les changements fondamentaux dans la distribution se réalisent tous les 3 à 5 ans. Cela devrait donc arriver d'ici quelques années.

Composites à base de lignine

Description opérationnelle

La lignine peut être valorisée en tant que combustible, ce qui est maintenant généralisé sur les sites producteurs de pâte, mais aussi pour des applications telles que des encres d'impression pour opacifier les enveloppes par exemple et obtenir des enveloppes biosourcées. Cependant, le secteur le plus prometteur en volumes est celui de la fabrication de fibre de carbone, avec des recherches notamment menées par les constructeurs automobiles, comme une alternative coût et recyclabilité particulièrement intéressante par rapport aux fibres de carbone issues de polymères pétrosourcés. La lignine est le candidat idéal pour remplacer le polyacrylonitrile, matériau de base pour produire les fibres de carbone car c'est une « déchet à forte teneur en carbone, généré en grande quantité par l'industrie du papier. La lignine doit être modifiée chimiquement et associée à d'autres polymères, afin d'obtenir une fibre de précurseur mécaniquement stable. Elle sera ensuite carbonisée au cours d'un procédé continu.

Cas d'application

- L'utilisation de composites dans l'industrie se développe avec une croissance de 5% par an. Les composites à base de lignine sont en voie de développement et sont relativement pertinents pour répondre à l'enjeu de recyclabilité.

Propriétés barrières du papier renforcé

Description opérationnelle

Deux types de technologies sont à mentionner : la chromatogénie et l'utilisation de la microfibrille de cellulose

La chromatogénie confère aux papiers et cartons, des propriétés de barrière à l'eau et aux corps gras et se substitue au traitement de résine fluorée, toxique pour l'environnement, ou encore aux films plastiques ne permettant pas la recyclabilité des emballages. La chromatogénie est une imprégnation à grande vitesse d'une couche moléculaire de chlorures d'acides gras suivie d'une chauffe rapide faisant passer ce revêtement à l'état de vapeur. Cette vaporisation permet une diffusion immédiate et uniforme sur le support papier ou carton. Ce procédé est off line de MAP et s'applique sur bobines. Le procédé permet de nombreuses applications, notamment la fabrication d'emballages alimentaires biosourcés, facilement recyclables, voire biodégradables ou encore la création de papiers autoadhésifs recyclables. Cette technologie est issue de la recherche entre une start up (BT3 Technologies), le CTP et le CNRS.

Les microfibrilles de cellulose (MFC) sont obtenues par un traitement mécanique de lamination humide la fibre de cellulose pour créer des filaments. Cette structure offre des propriétés barrières très élevées. Les propriétés barrières seraient obtenues par dépose de MFC en couchage en ligne sur la feuille formée sur MAP. Cette technologie est encore en cours de développement.

Une évolution de la réglementation favorisant le caractère recyclable et biosourcé des emballages permettraient de développer cette solution.

Cas d'application

- Création, fin 2016, d'un laboratoire commun de recherche en vue d'industrialisation de solutions d'emballages 100% recyclable entre Malengé (PME du Nord spécialisée dans les emballages souples) et le CTP, le Lab3P (Laboratoire of Printable Protective Package).
- « Avec les solutions à l'étude nous économiserons en plus 30 à 40 % de matière par rapport au procédé utilisant le polyéthylène issu du pétrole. Il s'agit de déposer en couches les plus minces possibles un additif par flexographie, offset ou autre traitement de surface. Les prototypes existent déjà. Reste maintenant à les valider en milieu industriel » - Paul Piette - responsable de recherche au CTP dans le domaine de l'impression graphique
- Développement industriel par le CTP avec un papetier coréen d'une dépose off line de microfibrille de cellulose

Nanocellulose

Description opérationnelle

La nanocellulose est une nanostructure de cellulose qui peut exister sous trois formes :

- nanofibre de cellulose ou nanofibrilles de cellulose ou cellulose nano-fibrillée (NFC/CNF) aussi appelée cellulose micro-fibrillée ou microfibrille de cellulose (CMF/MFC), obtenue par traitement mécanique ;
- nanocellulose cristalline ou nanocristaux de cellulose (NCC) aussi appelée cellulose nanocristalline (CNC) produite par procédé chimique ;
- nanocellulose bactérienne (BNC), synthétisée par des bactéries.

La nanocellulose est une nouvelle matière aux multiples applications envisagées : amélioration résistance mécanique et propriétés barrières du papier, émulsion et dispersion pour peinture, additifs alimentaires, cosmétique... Ces nombreuses propriétés (mécaniques, barrière, acoustiques, thermiques) font de la cellulose un moyen de la substituer à des matériaux issus de la chimie des hydrocarbures.

Les grosses entreprises papetières japonaises investissent dans la production industrielle de nanocellulose et en ont fait un objectif stratégique de relance de la filière.

Cas d'application

- Oji Paper a mis en place une usine pilote pour la production de 40 tonnes annuelles de nanofibre de cellulose à Tomioka Mill, en décembre 2016.
- En avril 2017, Nippon Paper a commencé une opération de production annuelle de 500 tonnes de nanofibre de cellulose.
- Le japonais Daio Paper a lancé un pilote pour la production de nanofibre de cellulose de 10 tonnes par an dans son usine de Shikoku-Chuo en janvier 2018.
- CelluForce est le leader mondial en production de cellulose nanocristalline (CNC) et en développement d'applications pour son produit, la NCCMC CelluForce. Dans le secteur du Papier et des textiles non tissés, la NCCMC CelluForce modifiée permet d'améliorer le circuit d'eau blanche et la qualité des produits finis lorsqu'elle est utilisée conjointement avec des matériaux traditionnels entrant dans la production de papier.

Utilisation d'algues comme matières premières

Description opérationnelle

Dans un domaine plus prospectif, l'utilisation des algues ou plus précisément de cyanobactéries, bactéries photosynthétiques dites « algues bleues » permet de produire de la nanocellulose. Il existe également une bactérie appelée *Acetobacter xylium* qui en produit dans son milieu. Les chercheurs voudraient modifier les gènes de la bactérie ou les insérer dans les cyanobactéries pour augmenter la production. L'avantage des cyanobactéries est qu'elles prolifèrent dans l'eau grâce au soleil et elles consomment du gaz carbonique.

Cas d'application

- La première utilisation ayant été faite des algues est dans l'agroalimentaire. Elles sont aujourd'hui vendues comme complément alimentaire pour les hommes et les animaux.
- On trouve des applications dans le domaine de la cosmétique, c'est notamment grâce à ce domaine que le traitement des algues s'est industrialisé.
- Comme n'importe quel végétal contenant des sucres, les algues peuvent servir à faire du plastique, à raison d'environ 7 kg d'algues pour 1 kg de plastique. C'est par exemple ce que propose l'entreprise Algopack avec un plastique s'apparentant à de la bakélite 100 % biodégradable. Mais ce n'est pas tout, il est également possible d'utiliser les fibres des algues pour faire des plastiques PP, PE ou PLA contenant 10 à 40 % d'algues. En plus de l'intérêt écologique, ces plastiques gagnent en densité et se cassent plus difficilement.
- Comme dans les cosmétiques, c'est l'aspect gélatineux de l'agar-agar qui est utilisé pour servir dans le liant. L'entreprise Felor utilise les algues depuis 2014 avec sa gamme de peinture Algo. La société bretonne utilise la matière sèche des algues brunes, un résidu de l'industrie cosmétique, pour apporter une opacité et remplacer une petite partie du dioxyde de titane de ses peintures.
- Un bitume fabriqué à partir de résidus industriels de micro-algues et développé par l'entreprise Algosource. Cet enrobé présente les mêmes propriétés qu'un bitume classique : il est viscoélastique de -20 à 60 °C et convertit 55 % des algues consommées. AlgoSource avec le soutien du laboratoire Génie des Procédés, Environnement et Agroalimentaire (GEPEA, CNRS/ Université de Nantes/IMTA/ONIRIS) a mis en place d'une plateforme de services (AlgoSolis) ouverte aux industriels et acteurs académiques.

Valorisation des cendres d'écorce

Description opérationnelle

La solution consiste à valoriser des cendres issues de chaudière à écorce sur des sites papetiers. Les cendres sont issues de la combustion de 95M d'écorces de bois garanties non traités et de déchets de carbonates de calcium fibrés.

Cas d'application

- La papeterie d'International Paper à Saillat valorise ses cendres auprès de Cendrecor, une association 1901 composée de 80 agriculteurs. L'association est constituée de trois collèges : un collège de représentants des adhérents, l'industriel et les deux Chambres d'Agricultures départementales (une par département concerné). Cendrecor mesure les retombées de son action :
 - la valorisation des cendres a permis l'adéquation entre les capacités d'enfouissement du CET et la durée vie de l'usine assurant la pérennité de l'activité industrielle. En outre, le projet aboutit à une double valorisation des écorces (production d'énergie avec la chaudière et utilisation agricole) permettant de limiter l'impact écologique.
 - du point de vue agricole, les apports de cendres se traduisent aujourd'hui par des conditions de production optimales. En neuf années d'activité, les pH des sols ont fortement évolué pour arriver à une situation de 6.5 en moyenne. Le conseil technique et le suivi annuel des exploitations (plan de fumure) donnent à l'agriculteur les moyens d'optimiser ses intrants et effluents d'élevage.

Sélection des solutions opérationnelles : dix critères pour le choix de douze solutions permettant de répondre au mieux aux enjeux des secteurs de la chimie et du papier

Méthodologie de sélection des solutions opérationnelles

La première phase du volet a permis de dresser une liste exhaustive de 32 solutions opérationnelles. Elles répondent toutes aux enjeux, réparties en 4 catégories d'enjeux, des industriels du secteur. Pour permettre une sélection réduite à une dizaine de solutions, une méthodologie co-construite par EY et les commanditaires a été appliquée.

Recherchant à évaluer le niveau de réponses aux enjeux identifiés, dix critères définis ci-après, ont été proposés. Chaque critère permet d'évaluer la réponse ou non, et dans quelle mesure, à un enjeu. À titre d'exemple, le critère « impact sur la chaîne de valeur » a pour but de mesurer qualitativement le niveau de réponse de la solution à l'enjeu « position sur la chaîne de valeur ». Pour chacune des 32 solutions identifiées, chaque critère a été évalué par EY. Ces évaluations se sont fondées sur les enseignements tirés des entretiens et de l'étude bibliographique ainsi que l'expertise des consultants EY sur les sujets d'Industrie du Futur et des industries chimique et papetière. Les critères n'ont pas vocation à déterminer de manière précise un classement des solutions les unes par rapport aux autres mais à affiner l'appréciation de la solution.

Deux critères ont été identifiés comme clés pour la suite de l'étude :

- la maturité de la solution,
- les gains potentiels,

L'horizon temporel de l'étude étant à 3 à 5 ans, les solutions peu matures ont été écartées de la pré-sélection. Néanmoins, certaines solutions non encore pleinement industrielles, comme la production de nanocellulose, seront choisies par le potentiel qu'elles présentent et la nécessité de préparer dès maintenant le positionnement de la France sur ce type de technologie. De plus, l'objectif de l'étude étant d'apporter des gains de compétitivité pour les industriels du secteur, les solutions apportant des gains faibles ont été écartées de la pré-sélection.

Une phase d'analyse qualitative entre les 4 parties prenantes, les trois commanditaires et le prestataire, a permis de retenir douze solutions. Les douze solutions retenues sont pour la plupart des regroupements de solutions issues de la liste des 32 solutions proposées initialement. L'analyse qualitative a permis de mettre en avant l'intérêt d'avoir des groupes de solutions cohérentes car présentant différents cas d'usage d'une même brique technologique ou différents niveaux de déploiement d'une solution similaire.

Enfin une vérification de la correspondance des solutions opérationnelles sélectionnées avec les enjeux identifiés a permis de s'assurer de la pertinence des solutions retenues.

Définitions des critères de pré-sélection des solutions opérationnelles

Dix critères ont été définis pour évaluer les solutions opérationnelles. Les définitions des critères sont détaillées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Définition des critères de sélection

Critère	Définition
Maturité de la solution	<p>La maturité de la solution vise à évaluer la capacité d'utilisation d'une la solution par un industriel. Quatre niveaux ont été identifiés pour ce critère en passant d'un niveau 1 où la solution permet à l'industriel d'élaborer des produits de démonstration à un niveau 4 où l'industriel est capable d'élaborer une offre mature pour le marché.</p> <p>Les deux premiers niveaux ont été identifiés sur la base de l'utilisation de l'indice TRL (Technological Readiness Level). L'indice TRL permet de mesurer le degré de maturité technologique d'une innovation (ou d'une technologie) afin de limiter les risques, identifier les verrous techniques et passer les différentes étapes de R & D de manière plus réfléchie et stratégique (budget alloué, temps de développement, partenaires académiques ou industriels, ...).</p> <p>Le premier niveau choisi correspond à un TRL inférieur à 6, où le TRL 6-7 correspond à la production de démonstrateur. Le second niveau correspond à un TRL compris entre 7 et 9, le TRL 9 signifiant que la technologie est suffisamment éprouvée et qu'elle peut être mise sur le marché.</p> <p>Enfin, le niveau 3 et 4 visent à reconnaître si la solution est mature mais avec peu d'offre sur le marché (niveau 3) ou mature avec des offres sur le marché (niveau 4).</p>
Maturité des acteurs	<p>La maturité des acteurs vise à évaluer la capacité d'utiliser la solution par les acteurs d'un certain secteur. Une solution peut être très mature dans certains secteurs industriels mais ne pas l'être pour les industriels de la chimie et du papier-carton. Quatre niveaux qualitatifs ont été identifiés pour ce critère en passant d'un niveau 1 où la solution est peu ou pas connue par les acteurs du secteur, à un niveau 4 où elle est bien connue par ces mêmes acteurs et en train d'être utilisée.</p> <p>Plus en détail, le premier niveau correspond à une solution peu ou pas connue par les industriels du secteur, le second signifie que quelques applications spécifiques ont été réalisées au sein de la filière. Les niveaux 3 et 4 correspondent aux mêmes intitulés que pour la maturité des acteurs, si quelques applications industrielles ont été constatées au sein de la filière ou une généralisation de la solution est en cours.</p> <p>Le critère a été évalué pour chaque filière du secteur la chimie de base, la chimie de spécialités et le papier-carton.</p>
Intérêt global pour la filière	<p>L'intérêt global pour la filière a pour objectif d'évaluer qualitativement le potentiel de la solution pour les acteurs industriels. Deux niveaux ont été identifiés pour ce critère : un critère Faible et un critère Transverse. Ces niveaux visent à relever si certaines solutions peuvent être très matures mais avoir un potentiel de déploiement très faible chez les industriels du fait de ses spécificités.</p>
Gains potentiels	<p>Particulièrement pour ce critère, les évaluations des solutions sont faites à partir des informations issues de la bibliographie ou des entretiens.</p> <p>Quatre niveaux ont été identifiés pour ce critère, en fonction du pourcentage des gains potentiels identifiés pour les solutions identifiées.</p> <p>Le niveau 1 correspond à une réduction de 5% des coûts de production actuels, le niveau 2 à une réduction entre 5% et 10%, le niveau 3 à une réduction entre 10% et 25% et le dernier supérieur à 25%. Le niveau 4 correspond à des solutions permettant la proposition de nouvelles offres commerciales ou de nouveaux produits.</p> <p>La dimension économique des solutions sera approfondie lors du volet 3 de l'étude.</p>

Critère	Définition
Impact sur la chaîne de valeur	<p>Les industriels rencontrés font partie d'une chaîne de valeur dans laquelle ils ont un périmètre donné. La transformation numérique des entreprises peut avoir un fort impact sur la chaîne de valeur, et dans certains secteurs des nouveaux acteurs ont totalement « disrupté » la chaîne de valeur en captant la valeur des industriels ou d'entreprises de service bien établies historiquement. Le phénomène de désintermédiation modifiant les positions historiques des distributeurs ou la médiation en réseau visant la coopération facilitée par les technologies de l'information sont des ruptures introduits par les solutions numériques.</p> <p>Quatre niveaux ont été identifiés pour ce critère, en passant par un niveau 1 où la solution n'a « pas d'incidence » sur les acteurs et la chaîne de valeur à un niveau 4 où la solution apporte un « changement fondamental » ayant un impact sur plus de trois acteurs de la chaîne de valeur. Les niveaux intermédiaires correspondent à une situation entraînant une « adaptation marginale » et à une situation entraînant une « adaptation conséquente ». L'adaptation marginale (niveau 2) correspond à un impact entre deux acteurs immédiats de la chaîne de valeur, un client et son fournisseur. L'adaptation conséquente (niveau 3) signifie que la solution a un impact sur plusieurs acteurs de la chaîne de valeur, par exemple un fournisseur en amont d'un industriel et son client en aval.</p>
Impact environnemental	<p>Pour ce critère, seuls deux niveaux d'évaluation sont retenus (0 et 1). Il s'agit de mesurer si la solution a un impact positif sur l'environnement ou non (neutre).</p>
Impact organisationnel	<p>Le critère portant sur l'impact organisationnel vise à évaluer le changement organisationnel induit par la mise en place de la solution. Certaines solutions peuvent impacter l'organisation de l'entreprise. Néanmoins certaines devraient vraisemblablement transformer les entreprises.</p> <p>Quatre niveaux ont été identifiés pour mesurer l'influence de ce critère. Ces quatre niveaux sont similaires au critère sur l'impact sur la chaîne de valeur : le premier niveau correspond à une situation n'ayant « pas d'incidence », le niveau 2 à une solution avec une « adaptation locale » au sein d'une équipe ou d'un atelier, le niveau 3 à une situation avec une « transformation conséquente » au sein d'une fonction ou d'un site et le niveau 4 à une situation entraînant une « transformation globale » au sein de l'ensemble de l'entreprise.</p>
Impact sur les compétences	<p>Les technologies numériques composant certaines solutions nécessitent parfois une adaptation importante des compétences des salariés en entreprise. Dans tous les cas possibles, une remise à niveau est généralement nécessaire.</p> <p>Ce critère peut prendre 4 niveaux : l'autoformation de l'opérateur ou du technicien (niveau 1), la formation courte au sein de l'entreprise ou par un organisme spécialisé (niveau 2), une remise à niveau poussée nécessitant de revoir certaines bases tendant vers une évolution importante du métier (niveau 3) ou une formation initiale nécessaire pour pouvoir répondre aux besoins de la fiche de poste (niveau 4).</p>
Investissements nécessaires	<p>Ce critère porte sur l'effort financier à fournir pour pouvoir accéder à la solution.</p> <p>Les quatre niveaux proposés permettent de définir le type d'entreprise auxquelles peuvent s'adresser les solutions. Les niveaux 1 et 2 sont accessibles de manière générale aux PME et à des initiatives locales de grands groupes et les 3 et 4 sont du niveau siège de grands groupes.</p> <p>Les quatre niveaux correspondent à des fourchettes de montants d'investissement. Le premier correspond aux coûts inférieurs à 100 k€, le second aux coûts entre 100 k€ et 1 M€, le troisième entre 1 M€ et 100 M€ et enfin le dernier à plus de 100 M€.</p>
Rapidité de mise en œuvre	<p>Le dernier critère correspond à la rapidité de mise en œuvre de la solution et s'échelonne d'un mois (niveau 1) à plusieurs années (niveau 4) en passant par le semestre (niveau 2) et l'année (niveau 3).</p>

Applications des critères aux solutions opérationnelles identifiées

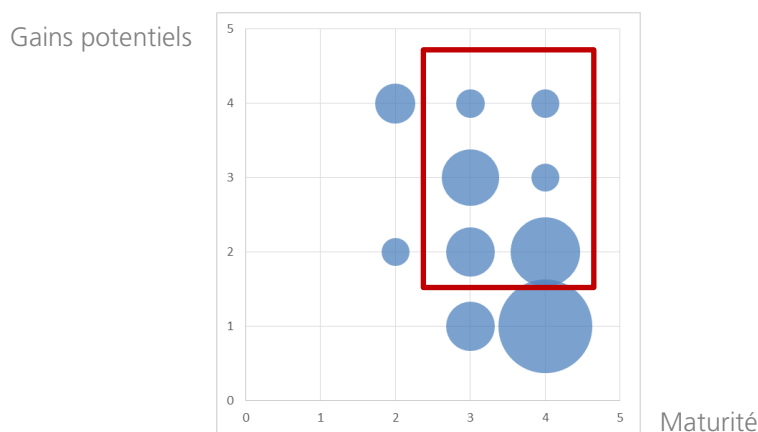
Le tableau en annexe restitue l'évaluation des solutions au regard des critères définis précédemment. Pour rappel, ces évaluations sont fondées sur les enseignements tirés des entretiens et de l'étude bibliographique ainsi que l'expertise des consultants EY sur les sujets d'Industrie du Futur et des industries chimique et papetière.

Sélection finale et synthèse des solutions opérationnelles

Les critères d'évaluation sont des outils de pré-sélection des solutions opérationnelles identifiées précédemment. Parmi les critères identifiés, certains niveaux sont considérés comme **réhibitoires** car non pertinents par rapport au contexte et périmètre de l'étude.

- Concernant le **critère de maturité de la solution**, l'ensemble des solutions dont le niveau est inférieur ou égal à 2, soit un TRL inférieur à 9, ont été éliminés. En effet, l'étude ayant pour objectif d'aboutir à un plan d'actions à 3 à 5 ans, les solutions qui ne sont pas encore matures ne nous semblent pas pertinentes à approfondir dans les autres volets de l'étude.
- Le critère portant sur les **gains potentiels** a aussi été utilisé pour réduire le nombre de solutions identifiées. Lorsque le potentiel de gains est au niveau 1, les solutions sont éliminées.

Figure 9 : Positionnement des solutions identifiées en fonction de leur maturité et des gains potentiels



Source : Analyse EY

NB : La taille du cercle permet de visualiser le nombre de solution pour une maturité donnée et un gain donnée.

Le choix des solutions est ciblé dans l'encadré rouge de la figure 9.

L'analyse du positionnement des solutions identifiées a permis d'aboutir à la sélection des solutions à approfondir dans les volets suivants de l'étude. Les solutions ont été regroupées en ensembles cohérents afin de traiter la plupart des solutions pertinentes pour les industriels des deux secteurs et les enjeux qu'ils rencontrent. Lors de cette réorganisation, les deux critères précédents, maturité élevée de la solution, réduction des coûts ont été pris en compte.

Concernant les enjeux, la catégorie d'enjeux des ressources humaines serait abordée spécifiquement lors des volets 3 et 4 de l'étude. La formation et l'appropriation des sujets Industrie du Futur seront étudiées dans le volet 3.1 sur les impacts compétences et organisation. L'attractivité des entreprises sera abordée dans le volet 4 de l'étude sur les conditions de mise en œuvre.

La liste de 12 solutions finalement retenues est la suivante :

Tableau 2 : Définitions des 12 solutions opérationnelles retenues

N°	Solution	Commentaires
1	<p>Analytics industriel (maîtrise des procédés et maintenance) : Utilisation d'algorithmes d'analyse de données pour optimiser la maîtrise des procédés et anticiper les défaillances des équipements</p>	<p>Cette solution regroupe la solution analytics industriel et la solution maintenance 4.0 de la liste initiale des 32. Élément essentiel de l'Industrie du Futur et plus largement de la digitalisation, le recueil, l'analyse et l'exploitation de la donnée permet d'améliorer la maîtrise du procédé de production (réduction des non qualités, optimisation du rendement matière, de la vitesse).</p> <p>La maintenance prévisionnelle vise à réduire les temps d'arrêt des équipements en intervenant avant la panne et en optimisant les opérations de maintenance préventive. Déjà mature et présente dans de nombreuses entreprises en France grâce à un marché d'offres de solutions bien établi, l'analytics industriel est une solution de base dans l'amélioration de la performance industrielle (impact TRS) et a un impact sur les enjeux de développement durable (réduction de la consommation énergétique, d'additifs,...)</p>
2	<p>MES et IIoT : MES utilisé pour piloter la production et capteurs industriels transmettant des données (paramètres du processus et suivi de la production) à travers une plateforme d'internet industriel des objets</p>	<p>Regroupant également deux solutions de la liste initiale des 32 solutions, le Manufacturing Execution System et l'Industrial Internet of Things est une solution complémentaire avec la première solution, Analytics industriel. En effet, elle permet d'apporter le recueil des données et la connectivité nécessaire à l'Industrie du Futur.</p> <p>En l'absence de ces systèmes, les machines de production génèrent des données mais ne communiquent pas avec les systèmes d'information de gestion des entreprises.</p> <p>Le MES en assurant cette communication et un échange d'information montant et descendant permet de piloter la production en temps réel en se fondant sur des données de production instantanées. L'IIoT va permettre de générer des données supplémentaires pour pousser l'optimisation du pilotage de la production plus loin. L'Ilot repose sur une architecture plus agile que les architectures SI traditionnelle et offre une accessibilité plus grande. Les données récoltées pourront également alimenter les bases de données de l'analytics industriel et apporter des gains potentiels aux industriels du secteur. Les données traitées permettent également de traiter les enjeux de développement durable (réduction de la consommation énergétique, d'additifs,...)</p>
3	<p>Simulation numérique (maquette numérique, jumeau numérique, simulation de procédés) : Modélisation numérique (par étape) d'installations permettant une expérience immersive de visualisation lors de projets de nouvelles installations, intégrant les équipements process et permettant de simuler les flux et les procédés de transformation</p>	<p>Cette solution regroupe 3 solutions de la liste des 32 solutions initiales. Il s'agit de 3 cas d'usage de la simulation numérique.</p> <p>La première est la maquette numérique. Afin de répondre aux besoins de formation des opérateurs, la maquette numérique permet de numériser l'environnement de production pour proposer une expérience immersive à l'employé afin de se former. Elle peut se faire à travers des serious games permettant de mettre en situation dans des conditions quasi-réelles. La formation peut également être faite grâce à de la réalité virtuelle.</p> <p>Le jumeau numérique est le second cas d'usage. Il va permettre de simuler le fonctionnement d'une ligne de production pour simuler des évolutions du processus et mesurer les impacts sur la production.</p> <p>Enfin, la simulation des procédés va porter sur les réactions chimiques ayant lieu dans les réacteurs et de faire varier les paramètres de température et pression par exemple pour mesurer les conséquences de certaines variations et optimiser le procédé en conséquence.</p>

N°	Solution	Commentaires
4	Automatisation des activités logistiques : utilisation des machines telles que des AGV pour l'optimisation des activités logistiques	Cette solution composée de ces 3 cas d'usages vise à améliorer la performance industrielle en réduisant les durées d'industrialisation, en optimisant le rendement matière, en réduisant la consommation énergétique ou en formant les opérateurs de manière plus efficace. Permettant de répondre aux enjeux de management de la chaîne logistique et de la productivité de la main-d'œuvre, la solution a été sélectionnée car elle permet de réaliser des gains de productivité et a un impact sur les modes de travail des opérateurs notamment dans la relation homme-machine faisant de cette solution un cas clé de l'Industrie du Futur.
5	Intensification des procédés : Réacteur de microstructure permettant une réaction en continu	Les méso-réacteurs, l'une des applications de l'intensification des procédés, est une alternative à la chimie classique en réacteurs (batch process). Elle présente de nombreux avantages permettant de répondre aux enjeux identifiés et faisant d'elle une solution pertinente à approfondir. Des rendements de production plus élevés, une augmentation des vitesses de réaction, de la sécurité industrielle et de la qualité des produits, tout en diminuant les déchets et les sous-produits ou les besoins en énergies sont certains de ces avantages. L'utilisation de l'intelligence artificielle à partir de données générées par ces équipements présente également des pistes de développement pertinentes à approfondir.
6	Simulation de formulation et conception produit grâce à l'IA : Simulation pour modéliser de nouveaux types de molécules afin d'accélérer la conception de nouveaux matériaux et utilisation de l'intelligence artificielle à partir de bases données à construire	L'utilisation de l'intelligence artificielle pour la conception produit et la simulation de formulation en chimie a un intérêt particulier. En effet, même si cette solution est encore à un stade précoce, certains industriels investissent dans l'achat de super ordinateur pour traiter les données issues de la recherche et du développement pour simuler les molécules potentiellement intéressantes en fonction des propriétés chimiques recherchées. Les capacités de calcul de ces ordinateurs associées à du machine learning ou de l'intelligence artificielle permettent de traiter cette quantité de données volumineuses et d'accélérer la phase de recherche et de conception des industriels ainsi leur temps de go to market.
7	IoT lié au produit : Mise en place de capteurs liés au produit permettant de mieux comprendre l'usage, de tracer les flux, de faire évoluer l'offre proposée	La traçabilité est un enjeu clé de l'Industrie du Futur. L'opportunité offerte par l'internet des objets appliquées aux produits présente un intérêt particulier car elle va permettre d'accéder à des données jusqu'à maintenant peu ou pas connues. Ainsi des données sur l'usage, les flux ou les modes de consommations permettront de faire évoluer et développer les offres associées aux produits.
8	Plateforme collaborative externe : Plateforme en ligne ouverte à d'autres acteurs externes à l'entreprise pour partager des informations telles qu'un niveau de stocks, des données logistiques, des données de vente...	Les données permettant de caractériser une relation client fournisseur ont une valeur pouvant attirer de nouveaux acteurs qui rechercheraient une désintermédiation pour capter cette valeur. Pour anticiper, cette éventualité, il est nécessaire de considérer ce type de solution et d'étudier les effets et les conséquences de sa mise en place. Cette solution peut également permettre de repenser la chaîne de valeur de la filière notamment grâce à de la co-conception entre client et fournisseur en considérant la recyclabilité des produits. La solution intègre le traitement de données massives pour analyser le marché et les tendances.
9	Marketplace : Cas d'usage de la plateforme collaborative externe. Compte tenu de sa spécificité, elle est considérée distinctement de la solution précédente. Plus précisément, il s'agit d'un site internet rassemblant un ou plusieurs acheteurs avec des fournisseurs	Compte tenu des phénomènes constatés dans d'autres secteurs où ce type de solutions à transformer la chaîne de valeur de la filière, la marketplace sera approfondie lors des volets suivant de l'étude. L'apparition d'une marketplace dans un secteur bouleverse les positions tenues par des acteurs historiques et de nouveaux acteurs peuvent capter une grande partie de la valeur du marché. Dans des secteurs B2C, Amazon, AirBnB et Uber sont les meilleurs exemples.

N°	Solution	Commentaires
10	Biotechnologies blanches dont biologie de synthèse et catalyse biologique : Utilisation de systèmes biologiques tels que des micro-organismes ou des enzymes pour la mise au point de procédés de fermentation ou catalytiques pour produire des intermédiaires chimiques et de la bioénergie à partir de la biomasse	Ces deux applications des biotechnologies blanches, aussi appelées biotechnologies industrielles, sont matures car utilisées depuis des siècles. Plus récemment le génie biochimique a permis d'exploiter des micro-organismes pour produire des composés chimiques ou biologiques. Plus spécifiquement, l'utilisation d'enzymes comme catalyseurs de réactions chimiques permet de réduire la consommation énergétique. De plus, des levures permettent de transformer des systèmes organiques en large gamme de produits notamment des bioplastiques. Ces applications permettent de répondre aux enjeux de développement durable mais aussi de performance industrielle.
11	Nanocellulose : Utilisation de nanostructure de cellulose pour des applications diverses : résistance mécanique, émulsion et dispersion pour peinture, additifs alimentaires et cosmétique	Cette solution émergente d'un point de vue industriel mais suffisamment mature pour être développée est particulièrement avancée dans certains pays. Ces applications potentielles justifient sa sélection. En effet, elles pourraient permettre de donner un avantage concurrentiel significatif en cas d'adoption.
12	Valorisation de la biomasse bois et des coproduits issus de la fabrication de pâte à papier : Utilisation de la biomasse bois et de la valeur ajoutée des coproduits issus de la production de pâte à papier	Cette solution permettrait un axe de diversification clé pour le secteur papetier qui fait face à une diminution de la demande sur certains segments. Assez matures et déjà en place dans certaines usines, les investissements nécessaires pour valoriser certains coproduits sont néanmoins importants et peuvent être une barrière à l'accessibilité.

Correspondance des solutions opérationnelles sélectionnées avec les enjeux identifiés

À nouveau, un test de cohérence a été réalisé entre les solutions sélectionnées et les enjeux du secteur identifiés. Les douze solutions répondent aux 3 catégories d'enjeux : la performance industrielle, la relation client et les nouvelles offres et le développement durable, illustrés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Correspondance entre les catégories d'enjeux et les solutions opérationnelles

Solution	Chimie	Papier	Performance industrielle	Relation client et nouvelles offres	Développement durable
1. Analytics industriel	X	X	X		X
2. MES et IIoT	X	X	X		X
3. Simulation numérique	X	X	X		
4. Automatisation des activités logistiques	X	X	X		
5. Intensification des procédés	X		X		X
6. Simulation de formulation et conception produit grâce à l'IA	X		X	X	
7. IoT lié au produit	X	X		X	
8. Plateforme collaborative	X	X		X	
9. Marketplace	X	X		X	
10. Biotechnologies blanches	X	X			X
11. Nanocellulose		X		X	X
12. Valorisation de la biomasse bois		X			X

Source : Analyse EY

Ce qu'il faut retenir

Un ensemble de douze solutions Industrie du Futur pertinentes par rapport aux enjeux des industriels des deux secteurs

L'état des lieux des technologies industries du futur a permis d'identifier douze solutions pertinentes pour les secteurs de la chimie et du papier-carton. Ces solutions permettent de répondre à **quatre catégories d'enjeux**. Il s'agit de :

- **La performance industrielle** : Chimie et pâte, papier-carton étant des industries de base, la pression sur les coûts demeure constante, mais aussi la réactivité avec des flux de plus en plus tendus dans l'industrie. La performance industrielle est donc l'une des catégories d'enjeux clés pour l'étude. Elle vise à l'optimisation des capacités productives, notamment autour du triptyque coûts-qualité-délais. Cette catégorie est composée de cinq sous enjeux : la maîtrise des procédés, la maintenance, la simulation ex ante ou ex post, la productivité de la main-d'œuvre et le management de la chaîne logistique.
- **La relation client et les nouvelles offres** : Dans un univers fortement concurrentiel, la relation client est un autre enjeu clef. La relation client vise à adapter au mieux les caractéristiques de l'offre aux besoins de la demande. La recherche de proximité avec le client (fréquence des échanges et interactivité entre l'offre et la demande) est recherchée : la notion de plateforme (plateforme collaborative ou marketplace) semble répondre particulièrement à ce critère. L'évolution des types de relation client peut transformer les modèles économiques des entreprises et parfois l'organisation des entreprises elles-mêmes. La catégorie d'enjeu relation client et nouvelles offres est composée de trois sous enjeux : la position sur la chaîne de valeur, la sécurité industrielle, la traçabilité.
- **Les ressources humaines** : Dans un contexte d'évolutions fortes et profondes liées au numérique, les ressources humaines des entreprises jouent aussi un rôle essentiel, pouvant être à la fois freins ou accélérateurs. L'évolution des métiers traditionnels et les changements d'attitudes des nouvelles générations vis-à-vis de l'environnement de travail imposent aux entreprises de porter une attention particulière à leurs salariés tant pour le recrutement de nouveaux collaborateurs que sur la formation et la fidélisation des salariés. Trois sous enjeux correspondant aux différentes étapes du cycle de vie professionnelle d'un salarié ont été identifiés : l'attractivité des entreprises, la montée en compétences des salariés et la fidélisation des salariés. De nouvelles solutions permettent de remettre l'Homme au cœur de l'usine en lui apportant un support dans son travail (accès facilité à l'information, aide à la décision, formation plus efficace,...)
- **Le développement durable** : Le développement durable, sous la pression réglementaire et sociétale, est une catégorie d'enjeu commune et essentielle à la fois pour l'industrie chimique et celle du papier-carton. On définit ici le développement durable comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »²⁰. Cet enjeu est très lié à l'enjeu de performance industrielle ; la recherche de l'optimisation des ressources en matière et énergie est en effet recherchée dans ces deux enjeux. Cette catégorie d'enjeux est composée de cinq sous enjeux : la réduction des émissions de gaz à effet de serre, le rendement de matière première, la valorisation des coproduits, le recyclable et le biosourcing de matières premières.

²⁰ Définition publiée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations Unies, dit rapport Brundtland

Afin de sélectionner les solutions à approfondir pour la suite de l'étude, une liste de critères a été proposée pour évaluer les solutions les plus pertinentes.

Les dix critères retenus visent à évaluer les solutions en vue de sélectionner/regrouper les plus pertinentes :

- la maturité de la solution vise à évaluer la capacité d'utilisation d'une la solution par un industriel,
- la maturité des acteurs vise à évaluer la capacité d'utiliser la solution par les acteurs d'un certain secteur,
- l'intérêt global pour la filière a pour objectif d'évaluer qualitativement le potentiel de la solution pour les acteurs industriels,
- les gains potentiels visent à évaluer l'impact sur la productivité, la consommation énergétique ou le rendement matière par exemple,
- l'impact sur la chaîne de valeur vis à évaluer l'incidence de la solution sur la position des acteurs d'une chaîne de valeur,
- l'impact environnemental vise à évaluer l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement engendrées par un projet,
- l'impact organisationnel vise à évaluer le changement organisationnel induit par la mise en place de la solution,
- l'impact sur les compétences vis à évaluer l'adaptation en compétences nécessaire,
- les investissements nécessaires visent à évaluer l'effort financier à fournir pour pouvoir accéder à la solution,
- la rapidité de mise en œuvre de la solution.

Les évaluations proposées sont fondées sur les enseignements tirés des entretiens et de l'étude bibliographique ainsi que l'expertise des consultants EY sur les sujets d'Industrie du Futur et des industries chimique et papetière. Compte tenu du périmètre de l'étude, certains critères ont été considérés comme prépondérants. La maturité de la solution doit être élevée afin de pouvoir envisager un déploiement de la solution à horizon moyen terme, soit 3 à 5 ans et les gains potentiels élevés afin de maximiser le retour sur l'investissement.

L'évaluation faite selon les critères définis précédemment a ainsi permis de sélectionner douze solutions Industrie du Futur.

Les douze solutions définies ci-après sont approfondies tout au long de l'étude.

N°	Solution	Définition
1	Analytics industriel maîtrise des procédés et maintenance)	Utilisation d'algorithmes d'analyse de données pour optimiser la maîtrise des procédés et anticiper les défaillances des équipements.
2	MES et IIoT	MES utilisé pour piloter la production et capteurs industriels transmettant des données (paramètres du processus et suivi de la production) à travers une plateforme d'internet industriel des objets.
3	Simulation numérique (maquette numérique, jumeau numérique, simulation de procédés)	Modélisation numérique (par étape) d'installations permettant une expérience immersive de visualisation lors de projets de nouvelles installations, intégrant les équipements process et permettant de simuler les flux et les procédés de transformation.
4	Automatisation des activités logistiques	Utilisation des machines telles que des AGV pour l'optimisation des activités logistiques.
5	Intensification des procédés	Réacteur de microstructure permettant une réaction en continu.
6	Simulation de formulation et conception produit grâce à l'IA	Simulation pour modéliser de nouveaux types de molécules afin d'accélérer la conception de nouveaux matériaux et utilisation de l'intelligence artificielle à partir de bases données à construire.
7	IoT lié au produit	Mise en place de capteurs liés au produit permettant de mieux comprendre l'usage, de tracer les flux, de faire évoluer l'offre proposée.
8	Plateforme collaborative externe	Plateforme en ligne ouverte à d'autres acteurs externes à l'entreprise pour partager des informations telles qu'un niveau de stocks, des données logistiques, des données de vente, etc.
9	Marketplace	Cas d'usage de la plateforme collaborative externe. Compte tenu de sa spécificité, elle est considérée distinctement de la solution précédente. Plus précisément, il s'agit d'un site internet rassemblant un ou plusieurs acheteurs avec des fournisseurs.
10	Biotechnologies blanches dont biologie de synthèse et catalyse biologique	Utilisation de systèmes biologiques tels que des micro-organismes ou des enzymes pour la mise au point de procédés de fermentation ou catalytiques pour produire des intermédiaires chimiques et de la bioénergie à partir de la biomasse.
11	Nanocellulose	Utilisation de nanostructure de cellulose pour des applications diverses : résistance mécanique, émulsion et dispersion pour peinture, additifs alimentaires et cosmétique.
12	Valorisation de la biomasse bois	Utilisation de la valeur ajoutée des coproduits issus de la production de pâte à papier – en particulier bioraffineries.

COMPARAISON INTERNATIONALE DE LA MISE EN ŒUVRE DES SOLUTIONS IDENTIFIÉES ET POSITIONNEMENT DE LA FRANCE

L'objectif du volet 2 de l'étude est de comparer les situations de mise en œuvre des solutions identifiées dans les cinq pays cités dans le volet 1 (**Allemagne, États-Unis, Japon, Chine et Finlande**) et de positionner la **France** par rapport à ces pays. Dans une première partie, nous allons développer une analyse des tendances des cinq pays dans les deux secteurs de la chimie et du papier ; dans une deuxième partie nous allons comparer la mise en œuvre des solutions identifiées dans les cinq pays et dans une troisième partie nous allons identifier le positionnement de la France par rapport aux autres pays.

Dynamique des secteurs de la chimie et du papier-carton et avantages concurrentiels dans cinq pays clés sur le marché international

Méthodologie pour l'analyse des cinq pays

Conformément au cahier de charge, notre équipe a développé une analyse de cinq pays ayant une position stratégique sur le marché international des secteurs de la chimie et du papier. Ces pays sont l'Allemagne, les États-Unis, le Japon, la Chine et la Finlande.

Pour réaliser cette comparaison internationale, des entretiens avec des experts EY des pays concernés ont complété les informations des premiers entretiens et de la bibliographie internationale. Ce sont des associés ou des directeurs basés dans les pays ciblés par l'étude avec une expertise acquise grâce à une vingtaine d'années d'expérience dans le secteur de la chimie ou du papier-carton.

Une étude des deux secteurs a été faite par pays afin de décrire en partie les tendances du marché dans chaque pays. Une présentation des programmes publics ou privés sur l'Industrie du Futur dans chaque pays a permis de d'enrichir l'analyse du marché. Enfin, une présentation de programme Industrie du Futur au sein de grands groupes industriels du secteur complètent l'analyse lorsqu'ils existent. Grâce à cette analyse, une évaluation des avantages concurrentiels par pays a pu être proposée. Pour rappel, cette évaluation s'est basée sur une analyse du marché et des tendances et complétée par des entretiens avec des experts et une étude bibliographique.

L'analyse de la situation des cinq pays jouant un rôle clé sur le marché international dans les secteurs de la chimie et du papier

Ce paragraphe présente les cinq pays qui ont été sélectionnés pour le développement d'une comparaison internationale dans les secteurs de la chimie et du papier-carton.

Allemagne

L'industrie chimique en Allemagne vient au quatrième rang des secteurs industriels allemands, devancée seulement en chiffre d'affaires par l'automobile, les industries mécaniques et l'industrie alimentaire. De nombreuses entreprises chimiques allemandes sont des chefs de file mondiaux, tout particulièrement BASF, qui se situe au premier rang avec un chiffre d'affaires de plus de 60 milliards d'euros en 2010. D'autres, pour citer quelques noms, sont Bayer, Evonik, Henkel et Merck (Darmstadt). Au total, l'industrie chimique emploie environ 450 000 personnes en Allemagne, et dépense 10 % de son chiffre d'affaires en R & D.

Après révision et pondération de l'Office fédéral allemand des statistiques, le bilan 2017 des industries chimique et pharmaceutique demeure très bon, selon la Bundesarbeitsverlagverband Chemie (BAVC), la branche industrie chimique de l'Association fédérale du travail. Les données, décrites encore comme préliminaires, indiquent que la production a progressé de 2,9 % en un an, et que les ventes ont bondi de plus de 6 % entre 2017 et 2018. Le taux d'utilisation des capacités s'est établi à 85 %. Sur le front de l'emploi, la BAVC note une tendance forte. La productivité par employé aurait progressé de 1,4 % en 2017 et le nombre de salariés a augmenté de 1,2 %, à plus de 452 000. La BAVC se dit optimiste pour l'année 2018. Cela étant, plusieurs facteurs inquiètent

le secteur : la politique protectionniste de l'administration Trump, la politique monétaire de la Banque Centrale Européenne, le risque de surchauffe, et la pénurie d'ouvriers qualifiés et d'infrastructures.

L'industrie papetière allemande²¹ peut tirer un bilan positif pour 2017 et est optimiste quant à l'avenir. C'est ce qu'a annoncé Winfried Schaur, président de la Verband Deutscher Papierfabriken (VDP), lors de la conférence de presse annuelle de l'association. Le chiffre d'affaires de l'industrie a augmenté de 3,2% pour atteindre 14,7 milliards d'euros en 2017. Les entreprises ont vendu un peu moins de 23 millions de tonnes de papier et de carton. C'est 1,4 % de plus que l'année précédente. La croissance de l'industrie papetière montre qu'elle fait partie intégrante de nombreuses chaînes de valeur. 45 % des ventes ont été réalisées à l'étranger. Le nombre d'employés est resté stable à environ 40 000.

Le secteur du recyclage papier a pu renouer avec la croissance. L'année dernière, plus de 17 millions de tonnes de déchets de papier ont de nouveau été transformés en papier neuf. Cela correspond à un taux d'utilisation des déchets de papier de 74 %. L'industrie papetière demeure donc un excellent exemple d'une branche des services environnementaux qui fonctionne de manière durable, a déclaré le président de l'association.

L'évolution des différents segments dans l'industrie papetière a de nouveau varié en 2017. Alors que les ventes de papiers d'emballage ont continué d'augmenter de 3,4 %, les ventes de papiers graphiques ont diminué de 1,8 %, mais pas autant que les années précédentes. Les ventes de papiers de soie ont augmenté de 0,5 % et celles des papiers techniques et spéciaux de 4,4 %.

L'Industrie 4.0 est l'un des projets clés de la stratégie concernant les hautes technologies du gouvernement allemand, qui encourage la révolution numérique des industries. En 2011, lors de la foire d'Hanovre, l'Allemagne est le premier pays à conceptualiser la numérisation des industries, l'industrie 4.0. En octobre 2012, un groupe de travail est constitué pour présenter au gouvernement allemand des recommandations sur l'implémentation de solutions dans l'industrie. Ce groupe est reconnu comme étant les pères fondateurs et les moteurs de ce concept. Le 8 avril 2013 à la foire d'Hanovre, le rapport final du groupe de travail industrie 4.0 est présenté. Certaines entreprises allemandes ont appliqué ces concepts et mis en place des programmes dédiés au sein de leur entreprise.

Par exemple, **BASF** a lancé un programme « Industry 4.0 ». L'entreprise souhaite être le leader de la transformation digitale dans l'industrie chimique. La vision du digital du CEO²², Kurt Bock, de l'industriel allemand repose sur l'ajout de valeur aux clients en leur apportant, grâce au digital, de nouveaux produits et services. BASF améliore son efficacité et son efficacité grâce à une connexion horizontale et verticale de la chaîne de valeur de la donnée et applique l'analytics pour accélérer les processus de prise de décision. Ce programme s'appuie sur 7 technologies qui doivent permettre la mise en place d'une industrie 4.0 pour les industriels de la chimie. La réalité augmentée, l'intelligence artificielle, la fabrication additive, les appareils mobiles, l'internet des objets, le big data et l'analyse de données (analytics) et le « cloud computing ». La digitalisation est un levier stratégique pour la croissance et l'efficacité globale de l'entreprise. Pour la croissance, la digitalisation de la R & D, la connectivité avec le client et les nouveaux business modèles digitaux permettent d'avoir une innovation décuplée, augmenter le partage d'information entre les acteurs de la chaîne de valeur et générer de nouvelles sources de revenus. Pour l'efficacité, la maintenance prévisionnelle, la réalité augmentée en production et une supply chain intelligente permettent d'augmenter la capacité de production, améliorer l'efficacité du travail et réduire son fonds de roulement. Par exemple, l'application de la maintenance prévisionnelle aux équipements tournants permet d'améliorer leur fiabilité et la maintenance des tours de distillation permet de réduire les arrêts imprévus. La maintenance prévisionnelle peut également être appliquée aux échangeurs de chaleur. La réalité augmentée est une autre technologie clé dans le programme Industrie 4.0 de BASF. Elle permet d'augmenter l'efficacité des opérateurs, de réduire les erreurs potentielles lors des opérations de maintenance et d'accélérer le transfert de compétences pour pallier au turnover des salariés.

²¹ Source : Association allemande du papier (Verband Deutscher Papierfabriken)

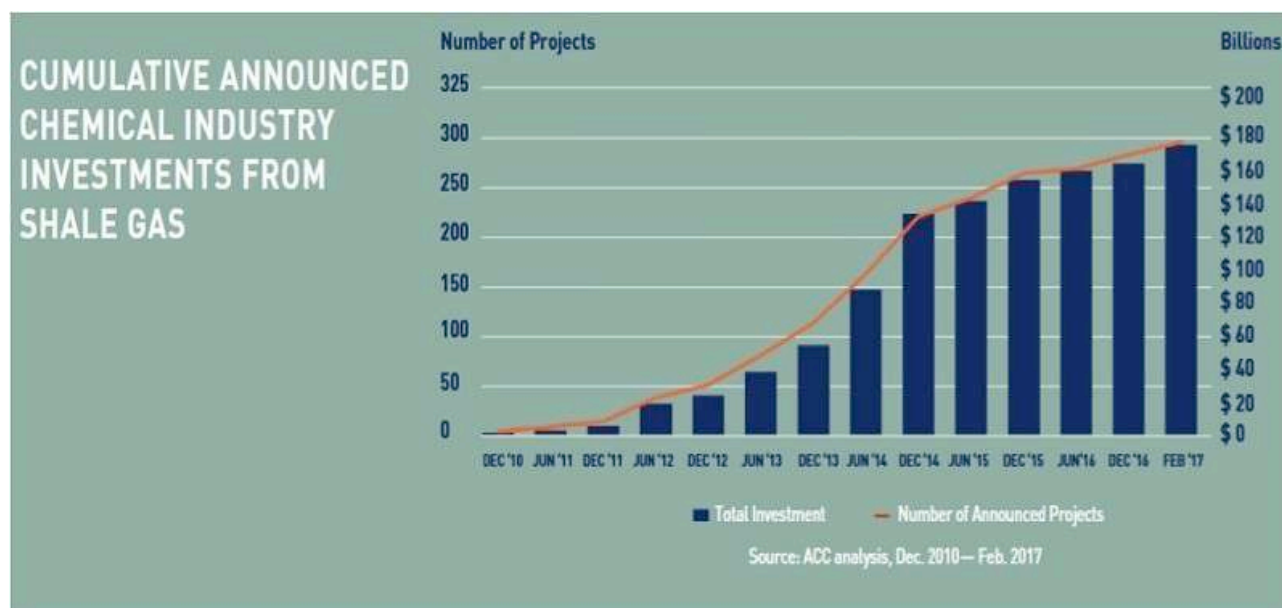
²² Directeur Général

États-Unis

La **production américaine de produits chimiques** a augmenté de 1,6% en 2016 ; selon les prévisions, elle devrait atteindre 3,6% en 2017 et 4,8% en 2018, de nombreux sous-secteurs continuant à profiter des avantages tarifaires du gaz de schiste. Les États-Unis sont passés du statut de producteur à hauts coûts des principaux produits chimiques au statut de deuxième producteur mondial à bas coûts.

La montée en puissance des investissements²³ de l'industrie chimique aux États-Unis sur les quatre dernières années est considérable et a atteint un montant cumulé de 185 milliards de dollars pour 310 projets (notamment des grosses raffineries), soit un montant moyen par projet de 600 millions de dollars. Certains projets sont financés à hauteur de 4 à 8 milliards de US \$. Il s'agit de projets concrets, soit en cours de construction ou bien décidés et annoncés. En 2016, ces investissements ont à eux seuls représenté 50% de tout l'investissement industriel des États-Unis (la chimie représente 26% du PNB américain). Comme une première vague d'investissement est déjà très engagée, il faut compter quatre ans pour construire ces méga-raffineries et leurs infrastructures associées, les résultats sur le marché des produits chimiques vont se faire sentir dans un avenir très proche sur la période 2017-2021.

Figure 10 : Investissements annoncés dans l'industrie chimique aux États-Unis



Source : American Chemistry Council, Feb. 2017, Infographics ©

Selon l'American Chemistry Council, cette vague va contribuer à créer un chiffre d'affaires additionnels de 295 milliards de US \$ en 2025 et créer 462 000 emplois directs et indirects. Le chiffre d'affaires de la chimie américaine passerait donc de 790 à 1 085 milliards de US\$. Quant aux exportations américaines, elles passeraient de 17 milliards en 2016 à 110 milliards de US\$ à destination principalement de l'Amérique Latine et de l'Asie. Pour produire de l'éthylène, molécules clé de la chimie, les États-Unis disposent de groupes internationaux tels que Dow Chemicals, Exxon et Chevron Philips qui investissent chacun presque une dizaine de milliards de dollars au Texas dans la construction de raffinerie de production d'éthylène.

Les points forts²⁴ de l'industrie chimique américaine sont un avantage concurrentiel international en raison des faibles prix de l'énergie aux États-Unis et des marges bénéficiaires stables et un faible niveau de paiements prolongés. Leurs points faibles sont un dollar fort qui entrave la performance à l'exportation et un secteur vulnérable à un protectionnisme mondial.

L'industrie papetière américaine est composée d'environ 150 entreprises pour un chiffre d'affaires annuel de plus de 80 milliards de dollars. Elle dispose de leaders sur le marché international, International Paper, Kimberly-Clark et WestRock pour n'en citer que trois. Cette industrie est concentrée puisque 50 des plus grandes entreprises réalisent 90% du chiffre d'affaires global. Plus globalement, l'AF&PA (American Forest & Paper Association) est l'association nationale pour l'industrie des produits issus des forêts. Cette industrie emploie environ 950 000 personnes et représente environ 4% du PIB de l'industrie manufacturière américaine. Les entreprises américaines sont pour la plupart bien équipés en systèmes d'information. Le Manufacturing Execution System est une solution largement déployée dans les entreprises américaines du secteur notamment chez International Paper où ce type de logiciel a été déployé sur l'ensemble des sites.

²³ Source : American Chemistry Council, Infographics

²⁴ Source : Atradius, Market Monitor Chimie July 2017

Malgré les nouvelles technologies de l'information permettant d'optimiser les processus au sein des usines, les systèmes « **smart manufacturing**²⁵ » permettant de piloter la production en temps réel, existent peu dans les grands groupes américains et n'existent quasiment pas dans les petites et moyennes entreprises. Le constat initial est donc que de nombreux industriels américains prennent des décisions avec une quantité limitée d'information. Le « smart manufacturing » est une approche qui recourt à des machines-outils connectés à internet pour surveiller le processus de production. Elle vise à identifier les opportunités d'automatisation des opérations et à utiliser l'analytics industriel pour améliorer les performances de fabrication.

En 2010, l'organisation d'un atelier intitulé « Mise en œuvre le Smart Manufacturing du XXIème siècle » a permis d'identifier les actions permettant de surmonter les défis nécessaires pour rendre accessible le smart manufacturing. La conclusion de cet atelier et de l'étude ayant précédé l'enquête est que la prochaine étape du changement de productivité de l'industrie manufacturière américaine se fera grâce à une large utilisation de la modélisation et de la simulation des procédés de fabrication. Le Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) a été fondé en 2012 pour répondre aux enjeux liés à l'Industrie du Futur. Ces actions ont suscité l'attention de la presse, notamment l'annonce de l'administration Obama d'investir 500 M\$ de projets pour le smart manufacturing.

Le consortium de l'internet industriel (**Industrial Internet Consortium**²⁶) est une organisation à but non lucratif créée en mars 2014 ayant vocation à rassembler les organisations et les technologies nécessaires pour accélérer le développement de l'internet industriel en identifiant, associant et promouvant les meilleurs cas d'usage. Les membres de cette organisation sont des petites et des grandes entreprises fournisseurs de solutions, des leaders de secteur, des chercheurs, des universités et des organisations gouvernementales. Leurs objectifs sont notamment de stimuler l'innovation par la création de cas d'usage industriels et des essais pour des applications réelles ; définir et développer une architecture de référence et des cadres ou normes nécessaires à l'interopérabilité ; influencer le processus de développement de standards globaux pour l'internet et les systèmes industriels ; faciliter l'ouverture de forums de partage et d'échanges sur le sujet et construire une confiance sur la sécurité grâce à des approches nouvelles et innovantes. Les membres fondateurs et contributeurs sont notamment : Bosch, Dell, General Electric, Huawei, IBM et SAP. Cette organisation comptait 258 membres en novembre 2016.

Les solutions visant à répondre à l'enjeu de développement durable ne sont pas ou peu considérées compte tenu de l'orientation politique du pays. En effet, les actions visant à réduire la consommation d'énergie fossile, réduire l'impact sur l'environnement et trouver des alternatives aux produits pétrosourcés ne sont pas d'actualité.

Japon

L'industrie chimique japonaise²⁷ est dominée par un groupe de grandes entreprises qui ont généralement des activités assez diversifiées avec de nombreuses filiales. Avec environ 860 000 personnes, elle emploie 12% des personnes travaillant pour les industries manufacturières. En 2013, cinq des trente plus grands groupes de l'industrie chimique dans le monde étaient japonaises : Mitsubishi Chemical Corp., Mitsui Chemicals Inc, Sumitomo Chemical Co. Ltd., Toray Industries Inc et Shin-Etsu Chemical Co. Ltd. Il existe également de grandes entreprises telles que Asahi Kasei Corp. et Hitachi Chemical Co. Ltd. mais aussi de nombreuses petites entreprises de chimie de spécialités produisant des produits ayant de très hauts niveaux de qualité. En 2013, les dépenses en recherche et développement étaient de 25 milliards de dollars, ce qui représente environ 22% de l'investissement total en recherche et développement pour l'industrie manufacturière au Japon. Comme la majorité des industries au Japon, les points forts de l'industrie chimique sont l'innovation et la qualité des produits. Deuxième industrie du pays après le secteur du transport (automobile et ferroviaire), l'industrie chimique est indispensable aux secteurs de l'automobile et du ferroviaire puisque les industriels de la chimie fournissent les matières premières des constructeurs. Partant du postulat que la force de l'économie japonaise repose sur son industrie, l'industrie chimique peut être considérée comme la colonne vertébrale de cette économie. Le sujet des compétences est également pris en compte avec l'Association Japonaise des Industries Chimiques qui cherche à fournir des ingénieurs chimistes dotés de compétences digitales. L'Association travaille avec l'Association Japonaise du Deep Learning et la Société Chimique Japonaise pour développer des formations rassemblant les deux domaines.

L'industrie japonaise du papier – carton²⁸ emploie près de 200 000 personnes au Japon pour un revenu global d'environ 7,3 milliards de Yen, ce qui représente 2,3% du revenu global de l'industrie manufacturière japonaise. Cette industrie est composée de grands groupes tels que Nippon Paper Industries, Oji Holdings.

²⁵ Le Smart Manufacturing est une approche qui recourt à des machines-outils connectés à internet pour surveiller le processus de production. Elle vise à identifier les opportunités d'automatisation des opérations et à utiliser l'analytics industriel pour améliorer les performances de fabrication.

²⁶ Source : site internet du Industrial Internet Consortium

²⁷ Source : site internet du Japan Industry News

²⁸ Source : site internet du Japan Paper Association

La nanocellulose est la solution majeure dans laquelle le Japon s'est engagé. Depuis plusieurs années, une coopération entre le gouvernement, notamment 4 ministères, les industriels du secteur et les grandes universités du pays a permis de structurer le développement de la solution. La plupart des développements réalisés porte sur les fibres modifiées chimiquement. Les principaux industriels ayant travaillé sur ce type de produits sont Nippon Paper et OJI. Cependant, il existe aussi des développements portant sur les fibres naturelles. Les acteurs clés concernant cette activité sont Daio Paper et Chuetsu.

Concernant la cellulose nano-fibrillée (CNF), des grandes entreprises telles que Mitsubishi et Toppan Printing ont déjà commercialisé des produits contenant de la CNF. Aujourd'hui, les applications ne sont constatées que sur des produits de niche avec un faible impact commercial. Cependant, le potentiel commercial de la nanocellulose est important puisqu'il est estimé à 23 500 000 tonnes²⁹. La situation est en train de changer depuis que Nippon Paper a entrepris la construction d'une usine d'une capacité de production de 500 tonnes de CNF. En plus de cette entreprise, une dizaine de sites d'une capacité de production de quelques tonnes à une centaine de tonnes existent. Chuetsu Paper a annoncé la construction d'une usine de 300 tonnes en 2017.

Les applications de la nanocellulose au Japon sont nombreuses, par exemple pour les filtres, batteries, feuilles, huiles, vernissage, revêtement de surface. Concernant le coût de fabrication, les producteurs japonais ont fixé un objectif de 10\$ par kilo de CNF à horizon 2020 et 5\$ à horizon 2030. Les analystes du gouvernement japonais estiment le marché potentiel pour la nanocellulose de 8 milliards de dollars en 2030.

Chine

L'**industrie chimique chinoise**³⁰ est entrée dans une phase de croissance plus lente, mais solide, après un ralentissement de la croissance du PIB (prévision de 6,7% en 2017 et 6,1% en 2018). Toutefois, malgré le ralentissement de la croissance du PIB de la Chine et de la demande dans le secteur chimiques, les taux de croissance restent globalement au-dessus de la moyenne. La performance de l'industrie chimique chinoise est toujours freinée par un retard technologique, malgré les efforts du gouvernement pour accélérer l'acquisition du savoir-faire occidental.

De nombreuses entreprises chinoises n'investissent toujours pas suffisamment dans la recherche et le développement et s'en remettent essentiellement à la technologie importée. Le gouvernement chinois encourage les joint-ventures entre les entreprises étrangères et les entreprises publiques. Les entreprises qui investissent en Chine profitent d'un marché intérieur en pleine expansion dans lequel elles peuvent vendre leurs produits, ainsi que des faibles coûts de construction et de main-d'œuvre lors de la création de projets entièrement nouveaux. Sur le long terme, l'industrialisation et l'urbanisation croissantes de la Chine offriront d'autres opportunités de croissance à l'industrie chimique et la classe moyenne, en plein essor, demandera des produits chimiques de meilleure qualité.

La concurrence dans le secteur de l'industrie chimique en Chine est forte, les surcapacités ayant contraint les entreprises à réduire leur productivité et à baisser les prix afin d'obtenir un avantage concurrentiel, aux dépens des petites et moyennes entreprises qui ont quitté le marché ou ont été absorbées par des entités plus grandes.

Les points forts du secteur chimique chinois sont la taille du marché chinois, l'un des plus grands marchés au monde de produits chimiques, l'utilisation large dans divers secteurs des produits chimiques et une demande nationale forte et des directives gouvernementales en matière de développement économique (13^{ème} plan quinquennal, 2016 à 2020). Les points faibles de ce secteur sont les problèmes de surcapacité, l'augmentation du coût de la main-d'œuvre a affaibli la compétitivité de la Chine sur le plan international et la fabrication de produits bas de gamme principalement.

Enfin, les marchés spéculent depuis deux ans sur la fusion de ChemChina et Sinochem qui doterait la Chine d'un nouveau géant mondial de la chimie. Si elle se confirme, cette fusion donnerait naissance au numéro un mondial de la chimie, avec un chiffre d'affaires de plus de 115 milliards d'euros et 170 000 employés. Elle s'inscrit dans la stratégie de Pékin de réduire le nombre d'entreprise d'État et de créer des champions mieux armés pour attaquer les marchés à l'international. En plus de cette fusion potentielle, le Shanghai chemical industry park est l'une des vitrines du renouveau industriel chinois. Des unités chimiques se succèdent, séparées par de larges routes désertes, il s'étend sur 30 km² en lointaine banlieue de Shanghai. Les fleurons de l'industrie chimique mondiale se côtoient sur le littoral de la baie de Hangzhou. BP, BASF, Bayer, Degussa, Dupont, Huntsman, Air Liquide et d'autres ont investi conjointement plus de 10 milliards d'euros pour s'installer sur cette plateforme pétrochimique, l'une des plus intégrées du monde.

En mai 2015, la Chine a lancé son programme **Made-In-China 2025**. Souhaitant ne plus être perçue comme l'usine du monde ayant des produits à bas prix considérés comme de mauvaise qualité, la Chine fait face à une hausse du coût du travail, des problèmes environnementaux et une raréfaction des ressources combinée avec

²⁹ D'après « Nanocellulose : Technology, Applications and Markets », RISI 2014

³⁰ Source : Macrobond, Oxford Economics, Atradius

une baisse des exportations. Inspiré du « Industry 4.0 » allemand (quatrième révolution industrielle), le programme *Made-In-China 2025* vise à dynamiser le secteur industriel chinois. Plusieurs axes d'effort sont retenus : l'innovation, l'intégration des technologies de l'information, le renforcement d'une industrie plus respectueuse de l'environnement, une restructuration du secteur manufacturier et internationalisation. Il s'agit d'un plan sur dix ans. Le pays incite ces entreprises à investir en R & D et à déposer des brevets.

Pour l'industrie chimique, ce programme se traduit par la réponse à deux enjeux. Le premier est le recours à des systèmes de production intelligents pour transformer l'industrie chimique et lui permettre de monter en gamme. Le second est l'exploitation des opportunités offertes par l'écodéveloppement de l'industrie chimique et pétrochimique. Le programme *Made-In-China 2025* met en avant la conception d'usines « vertes ». De plus la proximité des produits chimiques avec la vie de tous les jours des consommateurs finaux justifie la promotion d'une bio-industrie chimique.

Finlande (Papier-carton)

L'industrie papetière finlandaise³¹ constitue l'un des piliers de l'économie du pays, elle emploie environ 50 000 personnes. Le pays compte plus de 70% de forêts soit plus de 4 hectares de forêt par habitant. L'industrie papetière en Finlande est intégrée plus largement à l'industrie forestière. Cette industrie a souffert de la baisse de consommation de papier. En effet, près d'une trentaine d'usine de production de pâte à papier et de papier ou carton ont fermé depuis 2005. D'autre part, l'industrie a perdu environ 34 000 emplois depuis 2005. Elle représente 15% des employés travaillant pour l'industrie en Finlande et 20,5 milliards d'euros soit 19% de l'industrie manufacturière. Enfin, l'industrie papetière finlandaise exporte pour 10,4 milliards d'euros soit 20% des exportations finlandaises. Pour compenser cette perte d'activité et diversifier leurs activités, les industriels finlandais investissent massivement dans les bioraffineries. La Finlande s'est engagée dans l'exploitation de la biomasse à travers une gestion de bout en bout du secteur du bois de la gestion des forêts à la production de papier et carton en passant par la production de pâte. Pour cela les grands industriels du pays tels que Stora Enso considèrent que la plupart des produits qui sont aujourd'hui d'origine pétrosourcés pourront être à l'avenir biosourcés. L'utilisation de nouveaux modes de construction à partir du bois pour réduire l'utilisation du béton, les biocomposites issus des arbres pour réduire les besoins en polymères pétrosourcés pour le plastique et la lignine pour remplacer le phénol dans les colles sont des applications possibles actuellement en développement. L'impact de ce nouveau positionnement devrait toucher de nombreux secteurs comme la construction, la vente au détail, l'industrie manufacturière, la pharmaceutique, les cosmétiques et l'habillement entre autres.

Dans cette optique, les groupes internationaux finlandais ont commencé ce changement en transformant des sites papetiers en bioraffineries. Ces groupes sont parmi les plus grandes entreprises finlandaises puisque UPM (10 Md€), Sora Enso (10 Md€) et Metsä (5 Md€) sont parmi les cinq plus grandes entreprises finlandaises après Nokia et Neste.

³¹ Source : The pulp and paper industry in Finland, Mars 2017, Pöyry Management Consulting

Niveau d'adoption des solutions retenues et exemples pratiques dans les cinq pays clés sur le marché international

Méthodologie d'adoption des solutions retenues

Le volet 1 de l'étude a permis de retenir douze solutions. Ces douze solutions font l'objet d'une analyse approfondie dans les autres volets de l'étude. L'objectif du volet 2 est de réaliser une comparaison internationale de la mise en œuvre des solutions identifiées et de positionner la France par rapport aux 5 pays du périmètre de l'étude. Pour réaliser ce volet, les experts internationaux du cabinet EY ont été sollicités. Ils ont pu apporter leur expertise locale de la filière de la chimie et de la filière du papier-carton selon les pays. Une étude bibliographique approfondie des solutions sélectionnées a été réalisée pour compléter les échanges avec les experts.

Les évaluations du niveau de déploiement de chaque solution ne sont pas empiriques. Elles se basent sur un degré de convergence constatée entre les entretiens avec les industriels et des offreurs de solution, les avis des experts, les rapports et dossiers portant sur le sujet et les informations de la presse spécialisée.

Les solutions retenues dans les 5 pays clés sur le marché international des secteurs de la chimie et du papier-carton

Analytics industriel (maîtrise des procédés et maintenance 4.0)

Pour rappel, l'analytics industriel regroupe les sujets de maîtrise des procédés et de maintenance. La solution correspond à l'utilisation d'algorithmes d'analyse de données pour optimiser la maîtrise des procédés et anticiper les défaillances des équipements pour la maintenance.

Chimie

En Allemagne, l'analytics industriel est en principe déployé de manière assez large au sein des entreprises du secteur. La solution est notamment l'une des 7 technologies du programme industrie 4.0 de BASF. Le chimiste utilise l'analytics industriel pour réaliser la maintenance prévisionnelle de ses équipements. BASF a ainsi développé une application qui a pour objectif d'optimiser la coordination entre maintenance et production. L'application est fondée sur des analyses de fonctionnement de pièces critiques des équipements de production tels que les compresseurs ou les échangeurs. La solution permet également à l'entreprise d'optimiser les procédés de fabrications grâce à un outil fondé sur des algorithmes de machine learning³² pour optimiser le procédé de production, réduire les coûts et améliorer la qualité produit. Ces améliorations ont permis d'obtenir des gains de 36 M\$ sur une période de 3 ans sur le site pilote.

Dans le secteur de la chimie, **les industriels aux États-Unis** ont adopté de manière assez large cette solution pour la chimie de base. La diffusion est moins large dans la chimie de spécialités en raison des volumes de production et du type d'activités des industriels de ce sous-secteur. En effet, les algorithmes appliqués aux données récoltées nécessitent une quantité de données importantes pour que leur modèle soit le plus précis possible. La solution se prête en principe mieux à la chimie de base même si des cas d'applications ont été constatés dans la chimie de spécialités. Dow-Dupont a mis en place cette solution qui permet aux personnels de production d'identifier rapidement des changements des caractéristiques des matières premières d'un fournisseur et de réagir en conséquence pour optimiser la production et réduire les temps d'arrêt. Un retour sur investissement de 1 à 2 M\$ par usine par an est estimé pour l'utilisation d'analytics industriel. L'entreprise a également ouvert un centre pour l'analytics industriel en Asie à Rayong en Thaïlande pour un coût estimé de 10 M\$.

Au Japon, cette solution semble encore peu déployée ; quelques implémentations spécifiques sont constatées que ce soit pour la chimie de base ou de spécialités. Cependant cette appréciation est à nuancer par rapport à la culture industrielle du pays. Compte tenu de leur niveau d'industrialisation, d'automatisation et de robotisation, il est probable que les industriels japonais du secteur aient déployé ou a minima tester cette solution.

³² Le machine learning (apprentissage automatique ou apprentissage machine) est un champ d'étude de l'intelligence artificielle. Il concerne l'analyse, le développement et l'implémentation de méthodes permettant à une machine d'évoluer par un processus systématique et de remplir des tâches difficiles ou problématiques par des moyens algorithmiques plus classiques.

En Chine, cette solution n'apparaît pas avoir un niveau d'adoption élevé. Néanmoins dans son projet *Made-In-China 2025*, le gouvernement chinois souhaite exploiter les opportunités de l'Industrie du Futur pour se doter d'un outil de production connecté dans l'industrie chimique et permettant la gestion des processus en temps réel pour optimiser sa production. Compte tenu des investissements réalisés par le gouvernement chinois dans ce domaine, la situation pourrait potentiellement évoluer de manière rapide. D'autre part, les informations sur le sujet ne sont pas facilement accessibles ce qui ne permet pas d'avoir un niveau de confiance fort pour cette évaluation.

Papier-carton

L'Allemagne investit dans les nouvelles technologies autour de l'exploitation de la donnée, sous l'impulsion du programme industrie 4.0 mais aussi des fournisseurs de solutions allemands ou de culture germanique (SAP, Voith, ABB, Andritz,...) qui l'intègrent dans celles-ci. Cependant, le tissu papetier allemand est hétérogène dans l'application des solutions Industrie du Futur avec encore de nombreuses PME familiales et peu de groupes de taille mondiale. L'allemand Koehler Paper Group utilise par exemple le logiciel SAP Predictive Analytics pour optimiser en temps réel sa production. Plus globalement, la culture industrielle allemande permet de supposer avec une confiance relative que la solution est testée par les industriels de taille intermédiaire. Le potentiel de diffusion est assez important de par l'organisation des Länder assurant un soutien important à leurs entreprises.

Pour la filière papier-carton, cette solution est déployée en partie **aux États-Unis**. Généralement, les solutions mises en place sont développées par les industriels, il s'agit de solution « maison ». Les industriels n'envisagent pas encore l'intelligence artificielle pour ce type de solution. Cette appréciation est à nuancer par la difficulté d'avoir une connaissance fine de l'ensemble des acteurs du secteur mais se base sur un témoignage d'expert ayant plus d'une vingtaine d'années d'expériences dans le secteur aux États-Unis.

Au Japon, l'analytics industriel n'est pas encore pleinement utilisé par les industriels dans la filière du papier-carton. Néanmoins, les grands groupes investissent dans la maintenance prévisionnelle des équipements. Nippon Paper Group et Japan Pulp and Paper Co. Ltd. développent des solutions dans le domaine de l'intelligence artificielle. Les témoignages sur les sujets et la bibliographie permettent de supposer qu'il y a une hétérogénéité avec certains industriels plutôt en avance et travaillant déjà sur des sujets de maintenance prévisionnelle et de machine learning. Les industriels dans ce cas sont principalement les grandes entreprises papetières japonaises qui couvrent une part importante du marché. Cependant les industriels de taille plus modestes ne semblent pas encore avoir industrialisé le recours à cette solution.

Des cas d'applications ont été constatés en **Finlande** dans le domaine de la supply-chain pour fiabiliser les prévisions et les plannings de la production. Les bioraffineries relativement modernes du pays sont dotées de solutions analytics. Compte tenu de la place occupée par cette industrie en Finlande et la présence de grands groupes papetiers, cette solution va probablement se diffuser largement au sein de l'industrie car elle permet de réaliser de gains de productivité significatifs qui sont essentiels à la bonne performance des entreprises du secteur.

En France, des solutions Analytics ont été développés depuis 10 ans dans la papeterie qui a été le secteur de lancement de la start-up Braincube dans le domaine du machine learning appliqué à la production. Environ 50% des papeteries ont testé la solution ou l'utilisent de manière récurrente en France. Dans la chimie, les expérimentations sont en revanche beaucoup plus faibles. Cependant les grands groupes et les ETI du secteur utilisent ou ont à minima testé ce type de solutions sur des usines pilotes.

Tableau 4 : Analytics industriel - Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Moyen	Élevé	Élevé	Moyen	Moyen
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen	Élevé

Source : Analyse EY

MES et IIoT

Cette solution correspond à l'utilisation d'un Manufacturing Execution System, MES, pour piloter la production et de capteurs industriels transmettant des données (paramètres process et suivi de la production) à travers une plateforme d'internet des objets (IIoT : Industrial Internet of Things).

Cette solution permet aux industriels de se doter d'une colonne vertébrale numérique sur laquelle la plupart des solutions Industrie du Futur peuvent se brancher son déploiement fait partie des étapes de base dans le chemin vers l'Industrie du Futur.

Chimie

Comme pour l'analytics industriel, cette solution est plus déployée chez les industriels de chimie de base que dans la chimie de spécialités en raison des volumes de production et du type d'activités des industriels de ce sous-secteur.

En Allemagne, cette solution fait partie des prérequis selon le programme allemand « industrie 4.0 ». La mise en place d'un dispositif permettant d'interagir avec les procédés physiques et les équipements est à la base du système cyber-physique de l'industrie 4.0. Par exemple, dans une approche smart plants (usines intelligentes), selon les experts en vannes pour canalisation de BASF, « l'automatisation des vannes a de plus en plus d'importance ». Dans cette optique, lors de l'achat de vannes, le coût d'achat n'est pas l'unique sujet. La question autour du pilotage à distance et de la maintenance des vannes est désormais essentielle. La plupart des équipements visent ainsi à être automatisés dans leur pilotage et dans la capacité à remonter de l'information.

Aux États-Unis, les offreurs de solutions proposent des MES adaptés soit à la chimie de base, soit à la chimie de spécialités. Cette offre de solutions permet de supposer une certaine maturité des entreprises du secteur sur le sujet et doit être synonyme d'un déploiement conséquent au sein du secteur. La taille des entreprises du secteur peut également être un argument permettant de justifier un déploiement important. En effet, leur taille leur permet d'assumer le coût d'implémentation qui peut parfois être une barrière pour les entreprises de plus petite taille.

Au Japon, la plupart des grands groupes de l'industrie chimiques ont déployé cette solution. Sumitomo Chemical mène un projet de modélisation d'une usine digitale grâce à des capteurs et une plateforme d'internet des objets pour mettre en avant une visibilité en temps réel de la production et de sa supply-chain. Mitsubishi Chemical Co. a ouvert un bureau travaillant sur les technologies émergentes dont l'IIoT. Kaneka Corp. a créé une division appelé Business Process Innovation Division pour promouvoir la transformation des opérations grâce au digital et à l'internet des objets. De la même manière que pour l'analytics industriel, le fait que les grands groupes japonais du secteur aient déployé ou testé cette solution, ne signifie pas que l'ensemble de l'industrie s'est approprié cette solution mais permet de supposer que le niveau de déploiement est relativement élevé.

En Chine, la mise en place de cette solution est cohérente avec la volonté politique de monter en valeur pour les produits de l'industrie chimique. Elle doit permettre la production de meilleure qualité car elle est pilotée plus finement. Selon les experts travaillant pour l'un des grands groupes chinois, la solution est en cours de déploiement mais n'en n'est pas encore à un stade de généralisation avancée.

Papier-carton

Aux États-Unis, les experts de l'industrie papetière constatent que de nombreuses papeteries sont équipées de MES. Chez International Paper, aux USA, le MES est mis en place depuis 2008. L'utilisation additionnelle de capteurs couplés avec une plateforme IoT est à un stade de déploiement encore faible. Néanmoins la taille des usines de production de pâtes à papier et les volumes de production permettent de supposer que le déploiement de MES est à un stade relativement avancé.

Au Japon, de grands groupes comme Nippon Paper commencent à doter leurs sites de plateformes d'internet des objets en plaçant des capteurs dans des endroits clés de la production pour améliorer la productivité du site tels que sur les presses ou les cylindres chauffants ou les bobines de papier. D'autre part, le MES est déployé dans un nombre important de sites japonais. Par exemple, Nippon Paper a équipé plusieurs de ses usines de pâte de solutions de maîtrise de procédés avancées fournies par Valmet afin de réduire la variabilité du process, réduire les consommations de produits chimiques et d'énergie.

En Finlande, UPM Kymmene considère l'internet des objets comme une technologie clef pour l'Industrie du Futur. La solution permet d'accéder à des informations en temps réel grâce aux outils de mobilité dans l'usine, d'optimiser la logistique lors de l'approvisionnement du bois et de réduire sa consommation énergétique.

En France, le club MES accompagne les industriels souhaitant se doter de MES dans leur projet d'étude et de mise en place de ce type de solution. Ce club est une association d'offres de solutions MES souhaitant promouvoir ce dispositif auprès d'industriels. Le niveau d'adoption est globalement plus faible que chez nos concurrents. Les usines de papier en France appartiennent à des groupes étrangers. La mise en place de ce type de solution dépend généralement d'une volonté au niveau groupe d'implanter ce type de solution.

Tableau 5 : MES et IIoT - Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Moyen	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Moyen	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen

Source : Analyse EY

Simulation numérique

La solution Simulation numérique constitue un ensemble de technologies permettant la modélisation numérique (par étape) d'installations combinée à une expérience immersive de visualisation lors de projets de nouvelles installations, intégrant les équipements process et permettant de simuler les flux et les procédés de transformation. La modélisation des flux, la maquette numérique, le jumeau numérique et la simulation de procédés sont les technologies composant cette solution.

Chimie

En Allemagne, il est plus difficile d'évaluer le niveau d'adoption de cette solution car elle nécessite des moyens assez importants qui sont plus facilement accessibles à des grands groupes industriels. À titre d'exemple, BASF réalise des jumeaux numériques de ses sites pour réduire le temps de mise en service des nouvelles installations. D'autre part, une des composantes majeures du programme BASF 4.0 est le recours à la Réalité Augmentée pour préparer et faciliter les opérations de maintenance. D'autres entreprises testent ce type de solution, poussées notamment par les constructeurs qui proposent la version numérique de leur équipement ce qui facilite la mise en place de maquette numérique ou de jumeau numérique.

En Chine, peu d'informations sont disponibles sur le sujet dans la presse ou dans les études consultées. Quelques exemples ont pu être constatés tel que Sinopec qui utilise SmartPlant 3D, un logiciel de conception avancé, pour modéliser la structure d'une usine, les équipements et les circuits afin de préparer l'implémentation de nouvelles installations et pour améliorer les flux au sein du site.

Papier-carton

Cette solution n'a pas été constatée pour la filière du papier-carton lors de l'étude bibliographique. Les quelques cas identifiés lors des entretiens sont confidentiels.

En France, le domaine de la réalité virtuelle, poussée par des compétences issues du jeu vidéo, se développe dans le cas d'usage du déverminage de nouvelles installations. Quelques cas de jumeaux numériques existent. Le domaine de la simulation de procédés est couvert par quelques PME qui offrent des solutions abordables mais dont la couverture marché reste faible en France.

Tableau 6 : Simulation numérique – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

Source : Analyse EY

Automatisation des activités logistiques

L'automatisation des activités logistiques consiste à utiliser des machines telles que des AGV pour l'optimisation des activités logistiques internes.

Chimie

En Allemagne, certains industriels ont pris le virage de l'automatisation notamment de leurs activités logistiques. L'un des exemples emblématiques dans l'industrie chimique est celui de BASF qui utilise des AGV sur son site de Ludwigshafen afin de gérer les transferts de production par container de 100 tonnes entre les installations. Cependant, le niveau de déploiement chez les industriels allemands semble disparate.

Papier-carton

En Allemagne, comme pour la chimie, les industriels ont automatisé ce type d'activité comme dans la plupart des autres secteurs de l'industrie. À titre d'exemple, Wepa utilise des AGV entre ses machines à papier et les outils de finition afin d'alimenter en continu les lignes.

Aux États-Unis, International Paper utilise des AGV dans plusieurs de ses usines entre outils de finition et outils d'emballage/palettisation. Plus généralement, la taille des sites de production de pâte à papier ou de papier et les volumes de production associés permettent de réaliser des gains de productivité important lorsqu'une solution de ce type est déployée.

En Finlande, la plupart des usines des groupes Stora Enso, UPM et Metsä sont équipées d'AGV. Même si l'investissement nécessaire à la mise en place de cette solution est important, il reste accessible à des industriels de cette taille et leur permet de réaliser des gains significatifs en productivité main-d'œuvre sur les activités de manutention. C'est notamment pour cette raison que le niveau de déploiement est considéré comme étant élevé.

En France, des cas d'applications, en particulier dans la papeterie, existent, notamment pour assurer le transfert de production entre machines. Le cas du site de Golbey de Norske Skog est assez emblématique. Clairefontaine a également mis en place une solution intra logistique d'AGV. D'un point de vue général, la France possède un retard sur ces solutions ce qui représente un potentiel de déploiement important. Les industriels semblent être réticents à la mise en place de cette solution. Dans la chimie, il existe des projets de ce type de manière régulière mais faible. Concernant l'industrie papetière, les projets se font de manière moins régulière, plutôt selon un profil en dents de scie. Par contre, les industriels de secteur aval comme la cosmétique ou les imprimeurs ont adopté d'une manière plus large ce type de solution.

Tableau 7 : Automatisation des activités logistiques – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé

Source : Analyse EY

Intensification des procédés

L'intensification des procédés est une solution composée notamment des méso-réacteurs, réacteurs de microstructure permettant une réaction en continu.

Chimie

En Allemagne, des applications industrielles existent par exemple dans le domaine des colorants et permettent une flexibilité accrue pour obtenir des quantités faibles de produits et accroissent la sécurité des opérations.

En Chine, les fabricants de machines de production par microfluidique cherchent à développer leur connaissance et à améliorer la qualité de leurs produits. Pour cela, ils proposent des services à des prix nettement inférieurs à ceux des entreprises européennes du secteur ce qui leur permet d'attirer des clients tout en améliorant leur offre. Yole Développement estime que le marché des produits fabriqués par la microfluidique et

vendus par des acteurs chinois devrait augmenter annuellement de 28% d'ici 2023, soit de 171 millions US\$ à 754,1 millions de US\$. C'est bien plus important que l'ensemble du marché mondial de la microfluidique qui devrait être autour de 18% annuel.

Des cas d'application sont constatés dans les secteurs pharmaceutique et agroalimentaire en plus de l'industrie chimique. Corning, constructeur de méso-réacteurs notamment, s'est doté de plusieurs laboratoires dédiés au sujet en Chine, en France et aux États-Unis. Ces « Labs » accompagnent les entreprises dans les phases amont de conception et dans les phases de mise en place. Ils permettent également de faire des démonstrations de leur technologie aux industriels intéressés par le sujet. Globalement, cette solution ne semble pas encore déployée significativement dans les pays considérés par l'étude.

Papier-carton

Cette solution n'a pas été constatée pour la filière du papier-carton lors de l'étude bibliographique ou constatée lors des entretiens.

En France, il existe très peu de cas d'applications industriels, la solution est plus utilisée en laboratoires de recherche.

Tableau 8 : Intensification des procédés – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Faible	Moyen	Faible	Faible	Moyen

Source : Analyse EY

Simulation de formulation et conception produits grâce à l'IA

Cette solution correspond à la simulation pour modéliser de nouveaux types de molécules afin d'accélérer la conception de nouveaux matériaux et l'utilisation de l'intelligence artificielle à partir de bases données à construire.

Ce type de solution nécessite des investissements colossaux qui ne peuvent être pris en charge que par des grands groupes souhaitant investir dans la recherche et le développement. Les quelques cas constatés lors de la recherche bibliographique donnent souvent peu d'information sur ces projets. Les industriels préfèrent conserver une certaine confidentialité autour de la mise de ce type de solutions car elle permet d'avoir un avantage concurrentiel sur le marché assez conséquent.

La chimie est la championne du recours au calcul intensif avec une part de 40 %, très supérieure à la place qu'elle occupe dans le paysage d'ensemble (9 %).

Chimie

En Allemagne, les deux seuls non confidentiels sont chez BASF et Evonik. Le programme BASF 4.0 met l'accent sur la simulation de formulation dans les activités de développement. L'entreprise a monté un partenariat avec IBM pour installer un superordinateur HPE Apollo 6000 dans son siège à Ludwigshafen en Allemagne. L'ordinateur vise à réaliser des modélisations complexes. Evonik a développé un partenariat avec IBM afin de créer une base de données de connaissances chimiques et d'utiliser Watson, sa solution d'IA, pour développer de nouveaux produits.

Aux États-Unis, IBM a développé en 2017 un ordinateur quantique permettant de simuler la structure moléculaire de l'hydrure de béryllium. Il s'agit de la molécule la plus complexe ayant subi un traitement de simulation quantique total. Par contre, les échanges avec les experts et la recherche bibliographique n'a pas permis d'identifier des cas d'application industrielle.

Les deux premières machines du classement Top 500 HPC (high performance computing) sont **chinoises**.

Papier-carton

Il n'y a pas d'applications spécifiques de cette technologie pour la filière papetière.

Tableau 9 : Simulation de formulation – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

Source : Analyse EY

IoT lié au produit

La solution correspond à la mise en place de capteurs liés au produit permettant de mieux comprendre l'usage, de tracer les flux, de faire évoluer l'offre proposée aux clients.

Cette solution ne semble pas être déployée de manière large chez les industriels des 5 pays considérés. Certains cas d'application existent dans d'autres secteurs mais les experts constatent que l'industrie chimique et le papier-carton n'ont pas encore étudié le potentiel de cette solution.

Chimie

En Allemagne, Evonik a créé Evonik Digital GmbH, une structure de 30 personnes, afin de concevoir et tester des solutions digitales autour de la relation client. Bayer a développé un nouveau bouchon d'étanchéité afin de protéger les utilisateurs contre la contrefaçon de produits de protection des cultures. En scannant le code avec l'application interactive pour smartphone, l'utilisateur obtient des informations concernant l'authenticité du produit.

Papier-carton

Aux États-Unis, WestRock a lancé une solution de packaging connecté. La solution utilise un code barre qui permet de connecter les éléments physiques composant le packaging qui sont référencés sur une plateforme d'internet des objets permettant la collecte, l'échange et le traitement des données. Les codes-barres peuvent être lus par des smartphones, des scanners de détaillants ou d'autres équipements.

En France, il existe un écosystème favorable avec de nombreux offreurs de solutions à la fois équipement et réseau. Ce type de solutions n'est pas encore répandu en France sur les deux secteurs sauf auprès de quelques acteurs (Air Liquide et sa filiale Alizent dans la chimie ou des projets d'impression de circuits imprimés sur papier). Il existe néanmoins des offreurs de solutions pour la gestion d'équipements industriels. Les cas d'applications recensés sont issus d'industriels d'autres secteurs.

Cas industriel 1 : Acquisition d'Airgas par Air Liquide

Air Liquide a par exemple réalisé l'acquisition d'Airgas en 2016 aux États-Unis. Airgas est un fournisseur de gaz industriels et de produits et services associés aux États-Unis. Airgas apporte une plateforme unique, intégrant les activités de e-commerce et de vente à distance. Le président-directeur général d'Air Liquide, Benoît Potier, a déclaré lors de l'acquisition de la société américaine qu'elle allait contribuer à la stratégie de croissance du groupe. En effet, leurs positionnements respectifs sont complémentaires, l'acquisition a permis d'accroître la base de clients d'Air Liquide et de s'appuyer sur un réseau de distribution multicanal. De nombreuses synergies devraient être permises par cette opération. Un an après le rachat, 138 M€ de synergies ont été atteints lors du premier semestre 2017.

Tableau 10 : IoT lié au produit – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Faible	Moyen	Moyen	Faible	Moyen

Source : Analyse EY

Plateforme collaborative externe

Il s'agit d'une plateforme en ligne ouverte à d'autres acteurs externes à l'entreprise pour partager des informations telles qu'un niveau de stocks, des données logistiques, des données de vente.

Chimie

En Allemagne, BASF a lancé Magalis, une plateforme en ligne, qui aide les agriculteurs à améliorer la gestion des cultures. Le nouveau portail digital développé par Bayer pour ses clients fournit aux agriculteurs et aux négociants des conseils et des informations actualisées.

Papier-carton

Cette solution n'a pas été constatée pour la filière du papier-carton lors de l'étude bibliographique ou constatée lors des entretiens.

En France, quelques entreprises ont basculé sur des solutions Google suite permettant une collaboration plus fluide mais les plateformes collaboratives elles-mêmes et ouvertes sur l'extérieur (clients/partenaires) n'ont pas été rencontrées.

Dans le secteur de la chimie, SpecialChem est une plateforme permettant d'accéder à un très grand nombre de produits chimiques pour les applications suivantes : plastiques et élastomères, couchage, adhésifs, cosmétique, polymères. C'est un site de mise en relation non marchande.

Dans le secteur de l'aéronautique, une plateforme, BoostAeroSpace, a été créée en 2009 par Airbus, Airbus Group, Dassault Aviation, Safran et Thales. Il s'agit d'une plateforme numérique aéronautique européenne qui propose sur internet des services à valeur ajoutée, assurés par une sélection de fournisseurs B2B du domaine.

Tableau 11 : Plateforme collaborative externe – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Faible	Moyen	Faible	Moyen	Élevé
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Source : Analyse EY

Marketplace

La marketplace est un cas d'usage de la plateforme collaborative externe. Elle est considérée distinctement de la solution précédente car elle porte un sujet économique très important pour l'ensemble des acteurs de la filière chimie. Il s'agit d'un site internet rassemblant un ou plusieurs acheteurs avec des fournisseurs dans le but d'opérer des transactions marchandes.

Chimie

De manière générale, quelques cas ont été identifiés dans les pays de l'étude mais il ne semble pas y avoir d'acteur ayant proposé une solution généralisée à l'ensemble des acteurs du secteur.

En Allemagne, Buyersguideche.com est la première plateforme mondiale de vente de produits chimique, sur une base de clients situés dans plus de 100 pays.

En Chine, LookChem.com et Globalchemmade.com sont les plateformes leaders.

Aux États-Unis, ChemicalInfo, une base de données pour les industriels de la chimie et leurs clients, s'est associée en 2017 avec Molbase.com., une marketplace dédiée à la chimie.

Papier-carton

En France, Packitoo est une marketplace permettant de faire du sourcing de packaging.

Aux États-Unis, Go2Paper est une marketplace dédiée à l'achat/vente de papier et cartons.

En France, Air Liquide s'approprié une solution marketplace via le rachat de AirGas mais cela constitue une exception parmi les industriels.

Tableau 12 : Marketplace – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Faible	Faible	Moyen	Faible	Élevé
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Faible

Source : Analyse EY

Biologie de synthèse et catalyse biologique

La solution biotechnologies blanches se concentre sur deux cas : la biologie de synthèse et la catalyse biologique. La première correspond à l'application combinant biologie et principes d'ingénierie, dans le but de concevoir et construire (« synthétiser ») de nouveaux systèmes et fonctions biologiques, pour la fabrication de molécules chimiques. La seconde correspond à l'amélioration du taux de rendement des réactions grâce à des catalyseurs biologiques (enzymes).

Chimie

En Allemagne, BRENDA, une banque de données sur les enzymes, est entretenue et développée par l'Institut de biochimie de l'Université de Cologne. Les données sur les fonctions enzymatiques sont extraites directement de la littérature primaire. Des vérifications formelles ainsi que des vérifications de cohérence sont effectuées par des programmes informatiques.

Papier-carton

Le **Japon** est le pays phare en termes de développement de solutions enzymatiques. Nippon Paper a été le premier papetier à utiliser des enzymes pour réduire les dépôts de composants organiques ainsi que les applications enzymatiques permettant de réduire les besoins en raffinage.

En France, la recherche scientifique est présente dans le domaine de la biologie de synthèse mais très peu d'applications industrielles sont constatées. Dans le domaine des enzymes, les applications sont plus nombreuses y compris dans le papier mais la plupart des productions sont réalisées à l'étranger.

Tableau 13 : Biologie de synthèse et catalyse biologique – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Chimie	Moyen	Moyen	Faible	Élevé	Moyen
Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Moyen	Moyen	Faible	Moyen	Moyen

Source : Analyse EY

Nanocellulose

La solution consiste à l'utilisation de nanostructure de cellulose pour des applications diverses : résistance mécanique, émulsion et dispersion pour peinture, additifs alimentaires et cosmétique.

Chimie

Les applications ont été considérées comme liées au secteur du papier-carton. Il n'y a donc pas d'applications spécifiques de cette technologie pour la filière chimie.

Papier-carton

Cette solution est particulièrement développée **au Japon**. Oji Paper a mis en place une usine pilote pour la production de 40 tonnes annuelles de nanofibre de cellulose à Tomioka Mill, en décembre 2016. En avril 2017, Nippon Paper a commencé une opération de production annuelle de 500 tonnes de nanofibre de cellulose. Le japonais Daio Paper a lancé un pilote pour la production de nanofibre de cellulose de 10 tonnes par an dans son usine de Shikoku-Chuo en janvier 2018.

En **Finlande**, UPM Biochemicals offre et développe des produits chimiques innovants, durables et compétitifs à base de bois pour de nombreux usages. GrowDex® est un hydrogel à base de nanofibrilles de cellulose ayant pour usage des applications biomédicales. Ce gel est biocompatible avec les cellules et les tissus humains sans ajout de matière animale ou humaine.

En **Allemagne**, BASF et Zelfo technologie ont signé un accord en 2013 pour produire de la nanocellulose.

En France, il n'existe pas de projet industriel sur cette technologie. Des compétences existent notamment au sein du Centre Technique du Papier avec une installation pilote.

Tableau 14 : Nanocellulose – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Faible	Moyen	Faible	Élevé	Moyen

Source : Analyse EY

Valorisation des coproduits issus de la production de pâte à papier

Cette solution correspond à l'utilisation de la valeur ajoutée des coproduits issus de la production de pâte à papier.

Chimie

Il n'y a pas d'applications spécifiques de cette technologie pour la filière chimie.

Papier-carton

En Finlande, Mestä Group a investi 1 200 M€ dans une usine de coproduits à Ääenokoski. L'usine aura vocation à utiliser la totalité de la matière première lors du processus de fabrication de la pâte à papier pour qu'il ne reste pas de déchets. Les produits finaux comprennent de la pâte de haute qualité, d'huile végétale, de la térébenthine, du gaz naturel et de biocarburants sous la forme de granulats.

L'écosystème industriel doit également être la base des futures recherches dans le domaine des textiles et composites à base de bois. Fintpupl prévoit d'investir 1 400 M€ dans une usine de fabrication de pâte à papier. Cette usine sera connectée et les procédés seront optimisés notamment grâce à l'intelligence artificielle. En cible, l'usine produira 1,2 million de tonne de pâte à papier, 60 000 tonnes d'huile végétale et 1 TWh de bioélectricité tout en explorant les opportunités de produire d'autres coproduits issus de la production de pâte à papier. Enfin Boreal Bioref cherche à investir dans une bioraffinerie à Kemijärvi avec pour objectif d'utiliser la cleantech et l'économie circulaire au maximum de leur potentiel. En plus de son activité habituelle de fabrication de pâte à papier, la raffinerie devra produire des huiles végétales, de la térébenthine, de la bioénergie et des sucres qui pourraient être utilisés pour remplacer les plastiques à base de produits pétrosourcés.

En France, il existe de nombreuses valorisations des co-produits de fabrication de la pâte. Mais l'exemple de reconversion de l'usine de Tartas de Rayoner en bioraffinerie est un exemple unique en France.

Tableau 15 : Valorisation des coproduits issus de la production de pâte à papier – Évaluation du niveau de déploiement

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Papier-carton	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé

Source : Analyse EY

Le positionnement de la France dans la mise en place des solutions identifiées par rapport aux pays clés sur le marché international

Méthodologie d'analyse de la position de la France

Les constats faits sur les 5 pays de l'étude permettent d'apprécier le positionnement de la France dans un environnement international. Le positionnement de la France par rapport aux autres pays a été analysé de manière globale pour les solutions Industrie du Futur dans les deux secteurs de l'étude.

Le positionnement de la France : l'absence d'une position dominante ouvrant de nouvelles opportunités

La France n'a pas de position dominante sur l'une des solutions identifiées mais ne possède pas de retard critique non plus. Chaque pays étudié mis à part les États-Unis ont un positionnement stratégique visant à répondre à un enjeu en particulier et généralement les pouvoirs publics en place et les grands groupes industriels du pays travaillent ensemble avec comme objectif de donner un avantage concurrentiel à son industrie.

Dans la chimie, les grands groupes industriels français ont lancé des programmes afin de gagner en compétitivité grâce aux solutions apportées par l'Industrie du Futur notamment dans le traitement de la donnée pour optimiser les procédés de fabrication et la maintenance des équipements. Les PME et ETI de la filière se sont également engagées sur cette voie mais dans une moindre mesure. L'attente de normes sur ces sujets est présente et attendue par ces entreprises.

Pour la filière papier et carton, la plupart des sites français appartenant à des groupes internationaux sont détenus par groupes étrangers tels que International Paper, Norske Skog ou RDM Group. Ces sites dépendent donc en partie de la volonté et de la stratégie adoptée par la direction de leur groupe d'investir dans les projets Industrie du Futur. Néanmoins, les entreprises du secteur font appel depuis une dizaine d'années à des *start-up* offrant des solutions de traitement de la donnée telles que Braincube.

Enfin, la France dispose de quelques grands groupes industriels offreurs de solutions tels que Schneider Electric pour l'automatisation, à même d'accompagner les entreprises du secteur lors de la mise en place des solutions identifiées. D'autre part, de nombreuses TPE, PME et ETI françaises proposent des solutions et accompagnent les industriels dans leur mise en place. De plus, un écosystème de *start-up* dynamiques dans le domaine du traitement de la donnée s'étoffe et permet d'accompagner les industriels de la chimie et du papier et du carton. Néanmoins, les synergies possibles entre ces offreurs de solutions et les entreprises du secteur ne sont pas encore exploitées suffisamment.

Le volet 3 de cette étude permettra d'analyser les effets organisationnels et économiques de la mise en place de ces solutions ce qui permettra lors du volet 4 de déterminer les conditions de développements en identifiant les freins et les leviers des solutions. Le volet 5 tirera les enseignements des premiers volets de l'étude pour proposer des recommandations pour les acteurs du secteur dans le but d'améliorer leur compétitivité.

Chimie

Le tableau suivant présente une synthèse des évaluations du niveau de déploiement des solutions Industrie du Futur identifiées dans le cadre de l'étude pour le secteur de la chimie.

Tableau 16 : Synthèse de l'évaluation du niveau de déploiement pour la Chimie

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Chine
Analytics industriel	Moyen	Élevé	Élevé	Moyen	Moyen
MES et IIoT	Moyen	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen
Simulation numérique	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Automatisation des activités log.	Moyen	Élevé	Moyen	Élevé	Moyen
Intensification des procédés	Faible	Moyen	Faible	Faible	Moyen
Simulation de formulation	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
lot lié au produit	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Plateforme collaborative	Faible	Moyen	Faible	Moyen	Élevé
Marketplace	Faible	Faible	Moyen	Faible	Élevé
Biotechnologies blanches	Moyen	Moyen	Faible	Élevé	Moyen
Nano cellulose	NC	NC	NC	NC	NC
Valorisation des coproduits	NC	NC	NC	NC	NC

Source : Analyse EY

Papier-carton

Le tableau suivant présente une synthèse des évaluations du niveau de déploiement des solutions Industrie du Futur identifiées dans le cadre de l'étude pour le secteur du papier-carton.

Tableau 17 : Synthèse de l'évaluation du niveau de déploiement pour le papier-carton

Secteur	France	Allemagne	États-Unis	Japon	Finlande
Analytics industriel	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen	Élevé
MES et IIoT	Moyen	Élevé	Élevé	Élevé	Moyen
Simulation numérique	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Automatisation des activités log.	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé
Intensification des procédés	NC	NC	NC	NC	NC
Simulation de formulation	NC	NC	NC	NC	NC
lot lié au produit	Faible	Moyen	Moyen	Faible	Moyen
Plateforme collaborative	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Marketplace	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Faible
Biotechnologies blanches	Moyen	Moyen	Faible	Moyen	Moyen
Nano cellulose	Faible	Moyen	Faible	Élevé	Moyen
Valorisation des coproduits	Moyen	Moyen	Moyen	Élevé	Élevé

Source : Analyse EY

Ce qu'il faut retenir

Un contexte international dynamique imposant une cadence soutenue vers l'Industrie du Futur

Afin d'évaluer le positionnement de la France sur le marché international, une comparaison avec des pays ayant une position forte sur les secteurs de la chimie et du papier-carton a été réalisée. Cette comparaison a permis d'obtenir un triple constat.

Le premier constat porte sur les pays ayant une culture industrielle forte tels que l'Allemagne et le Japon.

Les entreprises de ces pays ont déjà déployé certaines solutions permettant des gains de productivité telles que l'analytics industriel, le MES ou l'internet industriel des objets (IIoT).

De plus, les programmes nationaux tels que « Industry 4.0 » lancé par le gouvernement allemand en 2012 à la foire d'Hanovre, permettent de diffuser l'Industrie du Futur chez les industriels.

Enfin, la présence de grands groupes industriels de premier rang au niveau mondial tels que BASF, Mitsubishi Chemical, Nippon Paper Industries, ayant entrepris des programmes Industrie du Futur, contribue à la maturité d'un pays sur l'Industrie du Futur.

Le deuxième constat porte sur les pays cherchant se différencier grâce à de nouveaux produits ou procédés.

Pour les industriels de la chimie, l'intensification des procédés, les biotechnologies blanches et la catalyse biologique sont des innovations de procédés en rupture avec ceux utilisés aujourd'hui. D'autre part, dans le secteur papetier, compte tenu de la baisse de l'activité et de la concurrence avec la production chinoise, les grands groupes papetiers japonais cherchent un nouveau positionnement sur le marché international. L'orientation d'investissements lourds vers la nanocellulose est une réponse à ce besoin. Depuis plusieurs années, les industriels japonais de la chimie et du papier-carton, accompagnés par le METI³³, ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie japonais, travaillent sur ce sujet à fort potentiel. Les propriétés techniques font de la nanocellulose une alternative à certains produits pétrosourcés. Des cas industriels ont été développés et positionnent les acteurs japonais comme meneurs sur cette technologie au niveau international. De la même manière, les industriels finlandais ont repensé le positionnement de leurs grands groupes papetiers. Ces groupes représentent une part importante du PIB de la Finlande et une part importante de la population active malgré une baisse conséquente depuis une dizaine d'années. La valorisation de la biomasse bois est au cœur de la stratégie de différenciation de ces entreprises. Des investissements conséquents ont été réalisés par ces groupes pour se doter de bioraffineries.

Enfin, dans son programme Made-In-China 2025 visant à dynamiser le secteur industriel, le gouvernement chinois porte ses efforts sur l'innovation, l'intégration des technologies de l'information, le renforcement d'une industrie plus respectueuse de l'environnement, une restructuration du secteur manufacturier et internationalisation. Dans cette optique, la législation chinoise sur la sécurité des installations a été renforcée pour minimiser les risques industriels. Dans le cas où un site chimie est catégorisé comme très risqué, le procédé continu est imposé, ce qui favorise le développement des mésoréacteurs. Des fabricants chinois de mésoréacteurs sont apparus récemment et le marché est également fortement poussé par la biopharmaceutique qui est l'un des domaines cibles du plan Made-In-China 2025. La Chine semble aussi vouloir prendre une position forte dans le domaine des supercalculateurs, équipement clef pour supporter la simulation de formulation.

Le dernier constat porte sur l'émergence de plateformes de type marketplaces dans la chimie en Allemagne (Buyerguideche.com), Chine (LookChem.com et Globalchemmade.com) et aux États-Unis (Molbase.com).

Il est difficile d'évaluer l'impact de ces marketplaces sur les marchés concernés par manque de données et d'information sur le sujet. Même si le nombre d'acteurs reste faible aujourd'hui, ce sont des plateformes pouvant potentiellement impacter le marché français en s'imposant comme intermédiaire en les producteurs de produits chimiques et les distributeurs.

La France ne montre pas d'avance particulière sur l'adoption des solutions identifiées.

³³ METI : Ministry of Economy, Trade and Industry

Un nombre limité d'entreprises ont commencé à déployer une démarche Industrie du Futur même si un dirigeant sur deux a formalisé ou est en cours de formalisation d'une feuille de route en 2017³⁴ (contre un sur trois en 2016).

Toutefois, la France dispose d'un écosystème dynamique d'offres de solution.

Il est composé de grands groupes industriels, de TPE, PME et ETI proposant des solutions et à même d'accompagner les industriels dans leur mise en place. Cet écosystème est renforcé par des *start-up* dynamiques dans le domaine du traitement de la donnée notamment. Concernant les solutions de type plateforme collaboratives et marketplaces, il n'y a pas d'acteur majeur ayant émergé en France. Il existe néanmoins un acteur français sur le marché de l'emballage papier-carton. Enfin, aucun positionnement différenciant n'a pour l'instant été constaté en France malgré des potentiels existants dans certains domaines (nanocellulose ainsi que l'ensemble des solutions numériques). Les grands groupes et les acteurs clés des secteurs ne se sont pas encore rassemblés pour envisager une démarche commune et nationale de différenciation.

La France est en retard dans certains domaines sans être distancée et est bien positionnée dans d'autres domaines. Il est encore temps pour la France de rattraper son retard sur les solutions dites digitales et de se positionner de manière différenciante sur les nouveaux procédés et produits.

³⁴ D'après l'enquête d'OpinionWay réalisée pour EY France auprès de 152 dirigeants fin 2017

ANALYSE DES EFFETS DES SOLUTIONS ENVISAGÉES SUR LA COMPÉTITIVITÉ DES SECTEURS ÉTUDIÉS

Ce volet vise à étudier les effets et analyser les effets des solutions envisagées. Les effets étudiés sont techniques, organisationnels et économiques et seront considérés par rapport aux enjeux concernés.

Analyse des effets technologiques, organisationnels et économiques pour les solutions retenues

Identification des effets pour les solutions retenues

Analytics industriel (maîtrise des procédés et maintenance 4.0)

Pour rappel, l'analytics industriel regroupe les sujets de maîtrise des procédés et de maintenance. La solution correspond à l'utilisation d'algorithmes d'analyse de données pour optimiser la maîtrise des procédés et anticiper les défaillances des équipements pour la maintenance.

La technologie permettant de mettre en place cette solution est mature. Un certain nombre d'offres de solution existe en France. Il peut s'agir de *start-up* ou de grands groupes ayant des équipes dédiées sur ces sujets.

Les données générées par les automates et les équipements de production peuvent être exploitées grâce à des algorithmes pour optimiser les processus de production. Les installations de chimie fine en processus discontinus sont souvent moins équipées et nécessiteront des compléments d'installation de capteurs. La possibilité d'aller plus loin dans le traitement en temps réel pour arriver à la régulation directe du processus de production est l'opportunité clé de l'analytics industriel. Cependant, des solutions en mode SaaS (software as a service) présentent des menaces car elles sont plus ouvertes car non hébergées sur des serveurs locaux et donc plus propices à des cyberattaques. Les données sont hébergées par le fournisseur des serveurs. L'industriel doit s'assurer que son fournisseur a mis en place les mesures nécessaires à la protection de ses données.

Siemens et Atos ont monté un partenariat pour l'outil MindSphere, une plateforme applicative industrielle. Elle permet de consolider, stocker et partager de l'information issue de différents sites et de la traiter avec des outils analytiques. La plateforme permet ainsi la diffusion de nouvelles pratiques industrielles au sein de l'entreprise, sous forme d'applications. Il peut s'agir de maintenance prévisionnelle, de pilotage des processus ou de reconfiguration dynamique de l'outil de production et de l'augmentation de la disponibilité de l'outil de production. Par exemple, la plateforme permet d'exploiter les données collectées par des capteurs embarqués sur les moteurs pour mieux connaître leur fonctionnement et donc d'optimiser leur conception, d'anticiper leur maintenance ou de réduire leur consommation d'énergie. Les entreprises ayant recours à ce type de solution utilisent les applications pour évaluer et optimiser la performance du processus de fabrication des équipements pour atteindre un Taux de Rendement Synthétique (TRS) optimal. MindSphere permet également d'assurer la sécurité des données de production en les collectant à l'aide d'un boîtier, MindConnectNano pour permettre un transfert unidirectionnel, crypté avec un certificat, de l'information. Ce type d'outil permet de traiter les problématiques liées à la cybersécurité.

L'intelligence artificielle constitue une opportunité pour permettre un retour d'actions vers les automates. Les données captées et envoyées vers une plateforme d'internet des objets par les soft sensors (décrit au point suivant sur le MES et IIoT) sont dans un premier temps traitées par de l'analytics industriel. Les senseurs remontent en continu des informations sur le niveau de performance de la machine à des plateformes IoT. En appliquant à ces données des modèles algorithmiques de machine learning, ils sont à même de révéler des écarts de fonctionnements par rapport à une configuration optimale de l'utilisation, en se fondant sur l'historique d'un parc de machines. L'application d'intelligence artificielle à ces données va permettre des actions retours vers les automates afin de corriger des réglages pour optimiser le rendement matière d'une machine ou sa consommation énergétique par exemple.

Effets économiques et optimisation des processus industriels

Cette solution mature et déjà déployée dans de nombreuses entreprises présente plusieurs atouts économiques. L'analyse et le traitement de la donnée permet d'adresser trois grands types de gains : l'amélioration du rendement matière (cf. glossaire), l'efficacité de la maintenance, l'amélioration de l'efficacité énergétique.

- **Amélioration du rendement matière** : le recueil et le traitement algorithmique de données process, de quantité de matière et composants introduits et de données qualité permettent de déterminer quels sont les paramètres process et les quantités de matières et composants optimales pour minimiser le coût d'une composition par exemple – tout en visant des spécifications données.
- **Efficacité de la maintenance** (cf. exemple ci-après): l'analyse de signaux (vibrations, températures,...) propres à un équipement permet d'identifier une probabilité de panne. L'intervention avant panne au moment opportun (lors d'un changement de fabrication ou nettoyage par exemple) permet de minimiser les temps d'arrêts et d'améliorer le TRS. De même, lors des inspections de préventif, les durées d'intervention peuvent être optimisées en se concentrant uniquement sur les équipements présentant une probabilité donnée de défaillance. La mutualisation de données entre équipements issus d'usines différentes et même d'entreprises différentes est une opportunité pour améliorer la performance des modèles prévisionnels grâce à un volume de données accrues.
- **Amélioration de l'efficacité énergétique** : la consommation d'énergie, si elle est vue comme partie intégrante de la nomenclature d'un produit peut être analysée comme paramètre d'optimisation ; i.e. identifier les réglages process permettant de minimiser la consommation d'énergie.

La nature des gains économiques liés à cette solution porte sur l'amélioration du rendement matière, l'amélioration du TRS et notamment la réduction du taux de pannes. L'évaluation actuelle des gains est jusqu'à 20% pour le rendement matière, de 5 à 10% pour le TRS et jusqu'à 50% pour le taux de pannes.

Étude de cas chiffrée : maintenance prévisionnelle

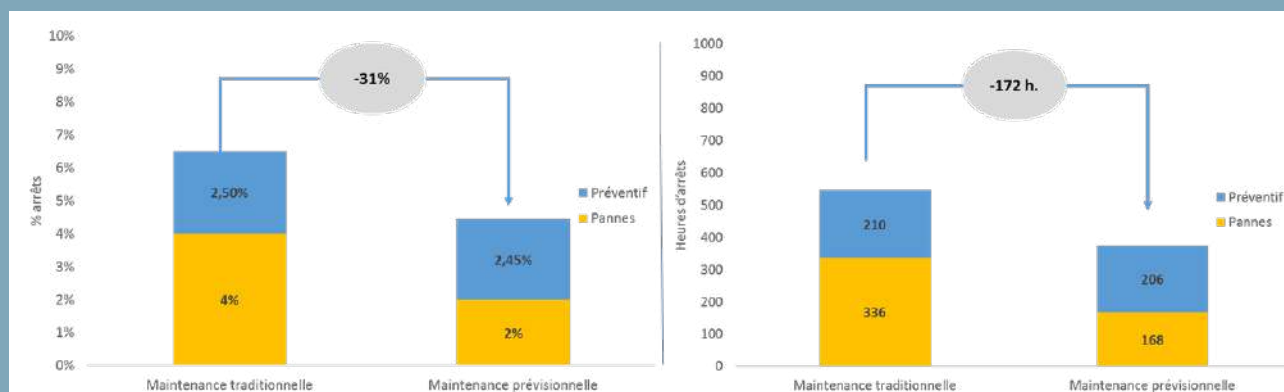
À titre d'illustration des gains liés à l'utilisation de la maintenance prévisionnelle, prenons l'exemple d'une installation industrielle goulot (cf. glossaire) fonctionnant en continu 7/7, 24/24. La ligne sur laquelle est cette installation génère environ 14 M€ de CA, soit environ 2000 €/h de CA pour un TRS de 85%. Les gains réalisés sur la réduction des arrêts de maintenance permettent de générer du chiffre d'affaires supplémentaires.

Hypothèses proposées pour cet exemple :

- Un taux de pannes de 4% par rapport au temps disponible et deux arrêts de maintenance planifiée de 9h toutes les 2 semaines – soit 2,5% de taux de maintenance planifiée sur une base de fonctionnement de 350 jours par an.
- Un système de maintenance prévisionnelle fondé sur de l'analytics de signal et de l'historique des pannes permet de réduire de 50 % le niveau des pannes et d'améliorer le temps de préventif de 20% en réalisant des interventions conditionnelles et non systématiques.

Les graphes ci-dessous montrent les niveaux de gains atteignables en % arrêts et en heures d'arrêts.

Figure 11 : Gains atteignables grâce à la maintenance prévisionnelle en % d'arrêts et en heures d'arrêts



Ramené en jours de production, le gain est de 8,5 jours de production par an (sur la base d'un TRS de 85 %).

Avec une répartition frais fixes/variables de 50 %, le gain généré est de 172 k€/an. Le retour sur investissement peut être inférieur à 1 an.

Source : Analyse EY

Effets sur les compétences

Par ailleurs, l'embauche de data scientists ayant des compétences permettant de maîtriser des quantités de données conséquentes (big data), requiert un volume d'activité minimum pour justifier ces embauches. À l'instar des ingénieurs process qui sont de moins en moins présents dans les entreprises interrogées, pour des raisons d'effectifs, l'activité générée par le recours à des solutions telles que l'analytics industriel ne suffit pas toujours à justifier l'internalisation de compétences autour de la data. Il est probable que les entreprises telles que des PME monosites n'atteignent pas cette charge minimale. Il peut être parfois opportun de former des salariés en interne à la gestion et au traitement de la donnée tout en leur libérant du temps pour qu'ils puissent se consacrer en partie à cette activité. Certains industriels papetiers rencontrés n'ont plus ou peu de collaborateurs dédiés à l'optimisation des processus et pourront donc avoir des difficultés à identifier en interne des chefs de projets pour accompagner le déploiement de cette solution. D'autre part, la data science n'est pas systématiquement au programme des formations initiales d'ingénieur, ce qui peut occasionner un manque de compétences. Pour pallier le manque de personnes ayant des profils avec cette compétence, de nouvelles fonctions peuvent être enrichies ou créées au sein des entreprises, par exemple ingénieur process avec une responsabilité sur le management des données de production. Les menaces de cyberattaques, pouvant entraîner de la perte ou de la fuite de donnée ou même la régulation du processus de production, sont à considérer lorsque la mise en place de ce type de solution est envisagée, ce qui conduit à améliorer les compétences des équipes SI et informatique industrielle dans le domaine de la cybersécurité.

Effets sur le management et l'organisation

L'atout-clé de cette solution d'un point de vue organisationnel est la responsabilisation des opérateurs dans l'aide à la décision couplé au développement de nouvelles compétences, la data science, pour les ingénieurs process ou qualité. L'analytics industriel, une fois déployée dans sur les sites de production, va apporter aux opérateurs et aux techniciens des informations pour adapter leur processus afin d'améliorer la performance. Le sujet du faire ou faire-faire est à traiter pour ce type de solution car intégrer des data scientists pour développer ses propres solutions ne peut être valable que pour de grands groupes pouvant entretenir des équipes de data science. Des solutions du marché existent et il n'est pas nécessaire de posséder une expertise pointue en data science ; en revanche, il est important de comprendre les principes afin d'éviter un effet boîte noire. Néanmoins, pour que les salariés en charge de la production s'approprient les nouveaux outils, il est nécessaire d'accompagner le changement lié à leur mise en place. En effet, l'acceptabilité des nouveaux outils par les salariés est un point essentiel pour la réussite de leur déploiement. La conduite du changement est un levier humain qui sera abordé dans le volet 4 de l'étude. L'un des changements importants dans le déploiement de ces types de solution est qu'il permet la responsabilisation des opérateurs dans l'aide à la décision ; cela pourrait conduire à un dépositionnement du management intermédiaire, les informations pouvant directement être traitées par les opérateurs.

Cas industriel 2 : Analytics industriel chez BASF à Ludwigshafen

Sur le site de Ludwigshafen de BASF, la consommation de vapeur est de 20 millions de tonnes par an. Cette énergie est produite par les usines de production et trois centrales sur le site. En outre, les centrales produisent la majorité de l'électricité nécessaire au site et quelque fois plus que ce qui est requis. L'électricité ainsi produite peut alimenter le réseau public. Mais les prix de l'électricité peuvent fluctuer toutes les quinze minutes. Des algorithmes aident à acheter et vendre au meilleur moment. Ils s'appuient sur une importante quantité de données et ont amélioré de 60% le niveau de prévisions de la consommation en électricité. Ce qui permet de vendre l'électricité au meilleur prix.

Cas industriel 3 : Analytics industriel chez Braincube pour les industriels de la chimie et du papier - carton

À titre d'exemple, la société Braincube, créée il y a une dizaine d'années, est un acteur français de l'analytics industriel, 50% des industriels du CAC 40 sont utilisateurs de Braincube. Convaincue que le pouvoir sera entre les mains des entreprises qui ont la connaissance et la maîtrise de leur process industriel, l'entreprise a créé une technologie qui permet de comprendre comment répéter ce qui marche et expliquer ce qui ne fonctionne pas, ou comment transformer le big data en données exploitables, recontextualisées, c'est-à-dire un outil de pilotage de la production en temps réel. Dans l'industrie chimique, Braincube a travaillé avec des sociétés telles qu'AREVA, Clariant, Corbion, Dow, IFF ou MG Chemicals. Les effets constatés sur la performance industrielle sont une augmentation de 4% de la production, une réduction de la consommation énergétique de 6% et une amélioration de la pureté de 16%. L'industrie papetière et les produits de la forêt est un secteur particulier pour la société puisqu'elle a commencé avec des industriels de ce secteur. Les entreprises avec lesquelles, la société a travaillé sont Arjowiggins, Munksjö, Norske Skog, Oji Paper, UPM, Smurfit Kappa et Sappi notamment. Les effets sur la performance industrielle sont également nombreux, une augmentation de 12% de la stabilité, une augmentation de 12% du papier recyclé, une réduction de 7% de la consommation énergétique et une réduction de 50% des indices de boues³⁵.

MES et IIoT

Pour rappel, cette solution correspond à l'utilisation d'un Manufacturing Execution System, MES, pour piloter la production et de capteurs industriels transmettant des données (paramètres process et suivi de la production) à travers une plateforme d'internet des objets (IIoT : Industrial Internet of Things). Le MES est un progiciel de gestion de l'atelier de production. Il collecte toutes les données liées à la fabrication et permet de mettre en place des indicateurs de suivi en temps réel afin d'optimiser la performance industrielle de l'entreprise. Il fait le lien en l'ERP (cf. glossaire) qui coordonne l'ensemble des activités de l'entreprise et les logiciels de supervision qui assurent le pilotage des moyens de production.

Appliquée au secteur du papier, le MES peut englober toutes les étapes du processus : la préparation matières, l'ensemble de la machine à papier (formation de feuille, pressage et séchage) ainsi que les outils de finition, l'énergie et les utilités. Concernant le secteur de la chimie, le MES englobe également les différentes activités, le stockage et le transfert de réactifs, le process batch ou process continu, la commande des installations.

D'un point de vue technologique, il y a une possibilité de gradation dans l'accessibilité à la solution en fonction des moyens de l'industriel et du choix d'architecture informatique. Une architecture IIoT peut être plus évolutive dans la mesure où des informations issues de capteurs peuvent être intégrées au fur et à mesure dans une plateforme. Une fois mis en place, l'opportunité principale est de se doter d'un pilotage automatisé de la production. De plus, cette solution est une première brique essentielle pour faire de l'analytics industriel. Comme pour cette solution, le MES et l'IIoT sont vulnérables aux cyberattaques lorsque qu'il s'agit de solution en mode SaaS.

Effets économiques et optimisation des processus industriels

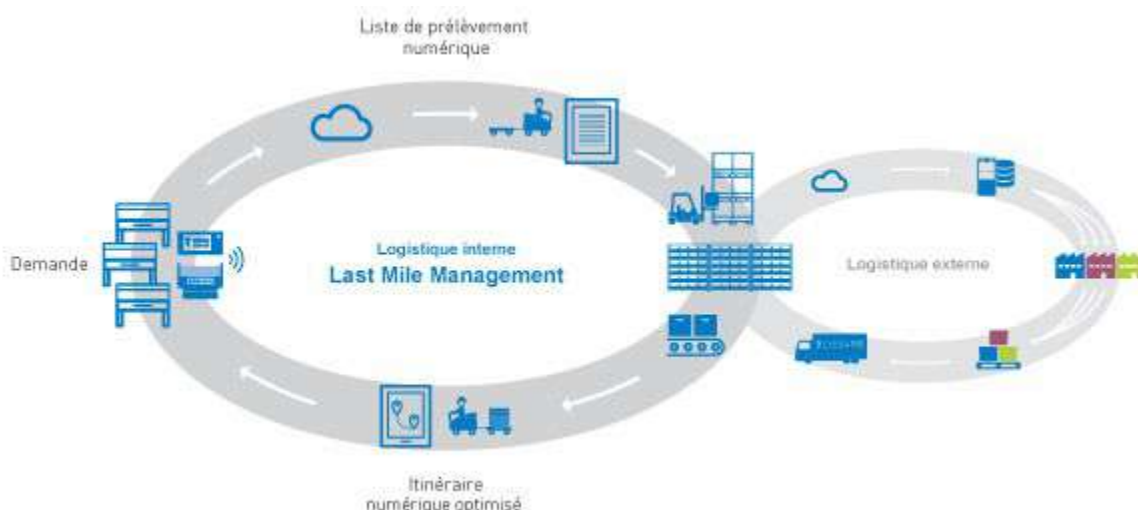
Le déploiement de cette solution permet de réaliser des gains de productivité main-d'œuvre sur la saisie et la compilation de données, mais ce n'est pas le type de gain le plus important. Les gains les plus importants résident dans l'accessibilité des données permettant d'améliorer le TRS et le rendement matière. C'est la visualisation en temps réel des sources de pertes – de temps ou de matière – qui permet des réactions plus rapides de la part des équipes de production. Cette solution permet également un management de la performance plus participatif en permettant à la fois aux équipes de production et à la ligne managériale de disposer des mêmes données de performance pour les analyser.

Pour le MES et l'IIoT, la réactivité dans la prise de décisions suite à un écart au standard permet de revenir à une situation nominale et ainsi réduire les pertes. Ces gains sont couplés avec ceux de l'analytics. En effet, cette solution permet de remonter de la donnée et même de suivre en temps réel des données de production. C'est l'analytics industriel qui va traiter et analyser ces données grâce à des algorithmes.

L'étape suivant le déploiement d'un MES ou d'IIoT peut porter sur le sujet de l'automatisation de la supply chain avec une gestion de réapprovisionnements automatique par exemple. Des systèmes tels ceux développés par Bossard, par exemple, permettent de suivre en temps réel les niveaux de stocks de composants, par un système de pesée connecté au système logistique ; ce type de dispositif existe dans l'industrie mécanique mais pourrait être appliqué aux secteurs chimie et papier pour gérer les stocks matières récurrents.

³⁵ Données issues du site internet, basées sur des résultats observés chez les clients Braincube

Figure 11 : Système de réapprovisionnement automatique



Source : Bossard ©

Effets sur le management et l'organisation

D'un point de vue organisationnel, la solution permet de réduire le nombre d'opérateurs de support à la production et le nombre de techniciens de supervision de la production. Les projets de mise en place de ce type de solutions nécessitent d'avoir des ressources en interne compétentes sur le sujet. L'opportunité principale de cette solution est l'effet attractivité et amélioration de l'image liée à la numérisation des usines. Comme pour l'analytics industriel, il y a un risque de dépositionnement du management intermédiaire.

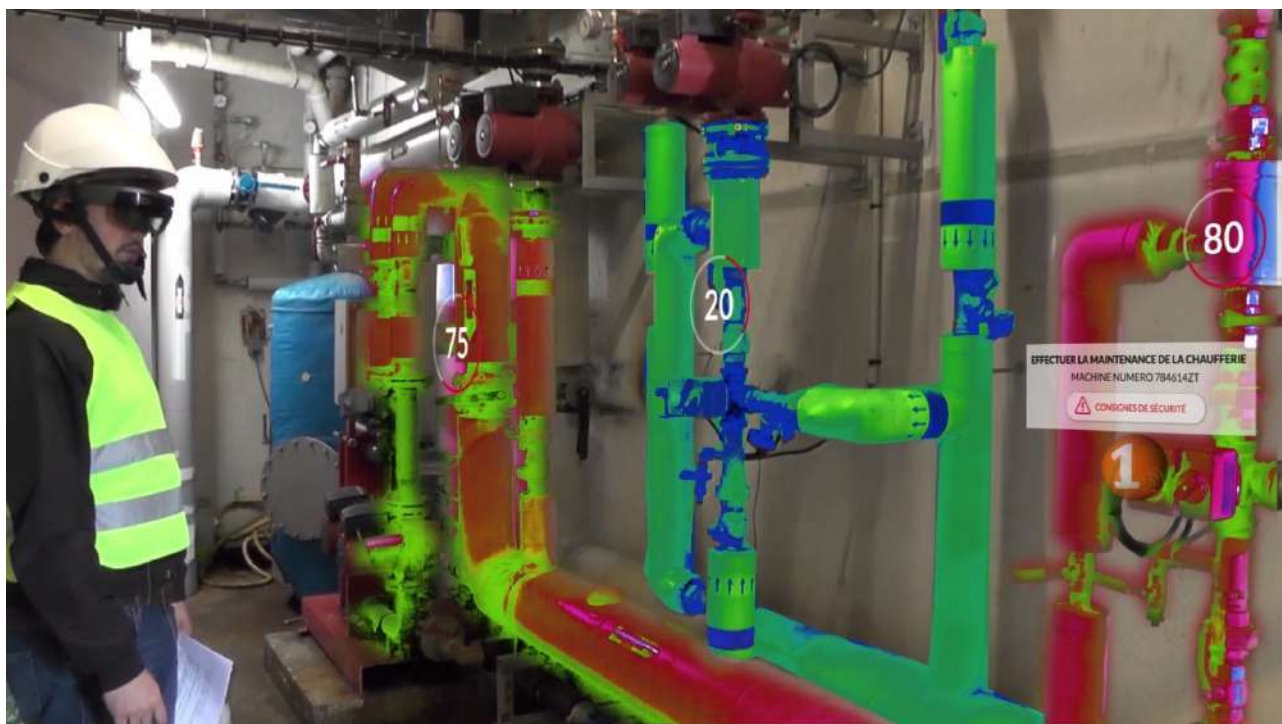
Simulation numérique

La solution simulation numérique constitue un ensemble de technologies permettant la modélisation numérique (par étape ou non) d'installations combinée à une expérience immersive de visualisation lors de projets de nouvelles installations, intégrant les équipements process et permettant de simuler les flux et les procédés de transformation. La modélisation des flux, la maquette numérique, le jumeau numérique et la simulation de procédés sont les technologies composant cette solution.

La simulation numérique permet la mise en place de la continuité numérique chez un industriel. La continuité numérique est la capacité à disposer de l'ensemble des informations numériques sur un produit ou un système tout au long de son cycle de vie. La conception d'un procédé et de son installation peut être réalisée grâce à la maquette numérique. Cette maquette permet ensuite de construire le jumeau numérique de l'installation. Il y a une continuité numérique entre sa conception et son utilisation ou en maintenance pour faire évoluer les matériels et suivre leur utilisation.

Les différents cas d'usage de cette solution sont matures. Des offreurs de solutions français existent sur le marché et proposent une gradation dans l'accessibilité à la solution en fonction des moyens et de la maturité de l'industriel. Les deux secteurs étant fortement capitalistiques, les équipements de production sont parfois anciens et il n'existe pas de modèle numérique de ceux-ci. De plus, aujourd'hui, peu de fournisseurs d'équipements proposent de mettre à disposition le modèle numérique des matériels qu'ils vendent. La possibilité de créer un jumeau numérique incluant la simulation de procédés est une opportunité technologique qui peut être complétée par la possibilité de faciliter la gestion de la configuration d'une installation. La formalisation du savoir-faire le rend vulnérable car il peut ne plus être détenu par les opérateurs ce qui constitue une menace technologique. La *start-up* Spectral TMS est spécialisée dans la réalisation de logiciels applicatifs en réalité augmentée pour l'utilisation opérationnelle. Ils ont réalisé des projets dans l'industrie automobile sur une problématique de transmission des savoir-faire de la maintenance de ce type de machine. Pour répondre à cette problématique, ils ont conçu une application qui facilite la maintenance des compresseurs *via* la visualisation en temps réel de toutes les informations issues des capteurs de compresseurs.

Photo 3 : Activité de maintenance par réalité augmentée



Source : Spectral ©

Effets économiques et optimisation des processus industriels

Le gain de temps dans la conception et le déverminage (cf. glossaire) d'une nouvelle installation est un atout économique de la simulation numérique qu'il s'agisse d'une nouvelle usine, d'un agrandissement ou de l'installation d'un nouvel équipement. Par exemple, un industriel, ayant une usine et souhaitant agrandir celle-ci, va pouvoir modéliser son outil industriel grâce aux données remontées par les automates, captées grâce à de l'IloT ou encore par des outils d'analyse d'image et ajouter l'installation nouvelle dans cet environnement virtuel pour tester et prédire la façon dont les objets physiques vont se comporter et performer avec le temps. Une fois la modélisation réalisée et les simulations ayant produit les résultats attendus, il est possible de passer à la construction physique de l'installation. De plus, une fois cette modélisation réalisée, il est possible de répliquer sur d'autres sites l'installation souhaitée et ainsi gagner du temps de conception synonyme de gain économique. La réplique d'installations industrielles est rendue possible grâce à la solution et est une opportunité économique notamment pour les groupes ayant des activités similaires nécessitant des installations identiques. Elle permet également d'optimiser les procédés grâce à une réduction des essais machines et de formaliser des savoir-faire. Il y a un risque d'acceptabilité des travailleurs pour cette solution également car la conception du jumeau numérique se fait également grâce au savoir-faire des opérateurs qui ne souhaitent pas nécessairement partager leur connaissance par crainte de devenir inutile. De fait, la conduite du changement constitue un levier essentiel pour mettre en place ce type de solution.

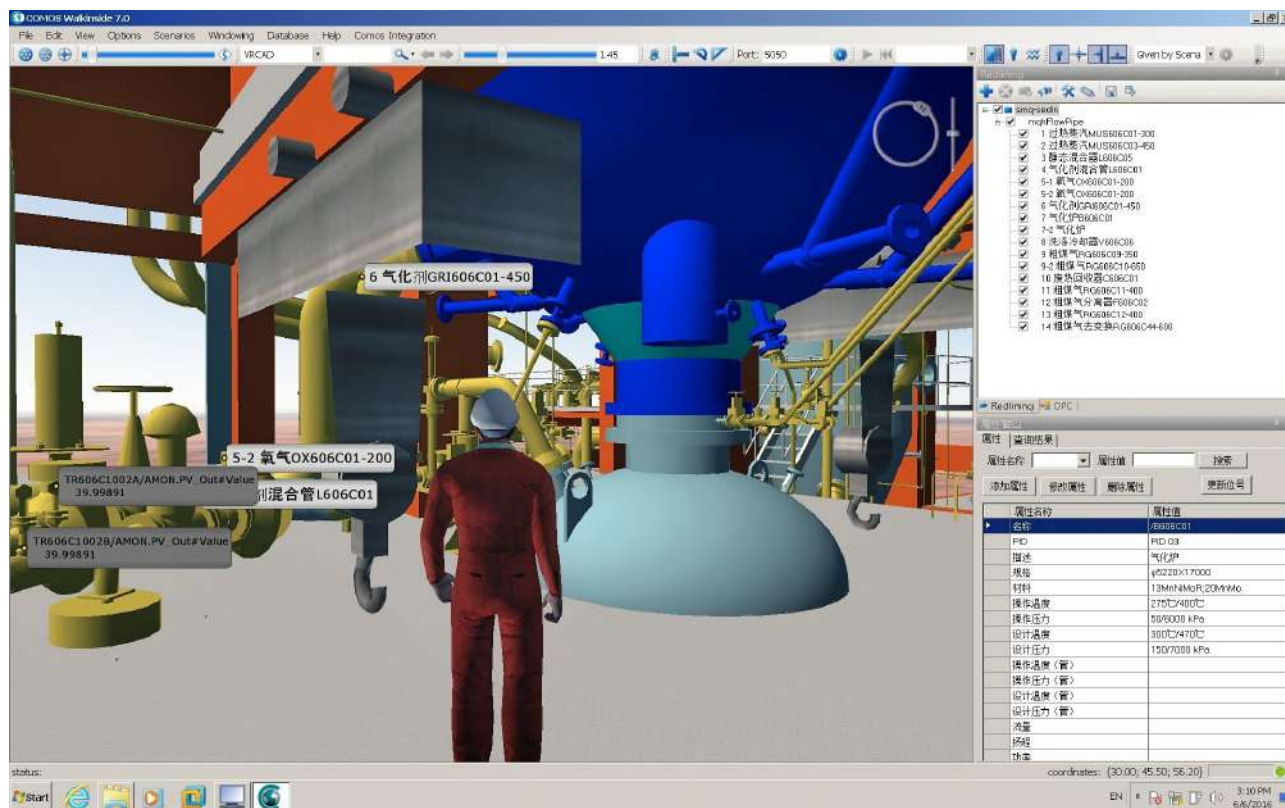
La réduction des coûts de déverminage de nouvelles installations grâce à une simulation de l'installation dans l'environnement de production et grâce à une simulation de flux permet de réaliser des gains pouvant aller jusqu'à 5% du coût d'une nouvelle installation. Les opérateurs futurs utilisateurs d'un équipement peuvent se projeter dans le nouvel environnement de travail et simuler un parcours d'installation et simuler la conduite de l'installation. Cette projection, outre la conduite du changement qu'elle permet, facilite l'identification de problèmes possibles (erreurs de conception dans les accès et les flux, erreurs d'ergonomie des postes, erreurs dans l'Interface Homme Machine pour piloter l'installation). Reprendre la conception plutôt que l'équipement lorsque celui-ci est en cours d'installation permet un gain de temps et de coût de reprise.

L'utilisation de la simulation numérique en maintenance permet d'utiliser des outils de réalité augmentée afin de faciliter l'accès à un mode opératoire ; des gains de temps de 20% à 30% sont accessibles sur la réalisation de tâches complexes en évitant le recours à de l'expertise au dernier moment et en évitant de la recherche empirique.

Enfin, la perte et la fuite de données est une menace économique pour l'entreprise souhaitant déployer ce type de solution. En effet, si un concurrent accédait au jumeau numérique d'un site d'un industriel, il pourrait théoriquement répliquer à l'identique son processus de production pour obtenir des produits identiques et ainsi attaquer ses parts de marché.

« Dans le futur, les jumeaux numériques intégreront des systèmes d'intelligence artificielle pour les aider à comprendre comment les produits se comportent et ainsi, développer des solutions plus efficaces. Associer l'intelligence artificielle aux jumeaux numériques permet aux entreprises et aux organisations de travailler plus efficacement et de créer de meilleurs produits, mieux adaptés aux situations qu'ils sont susceptibles de rencontrer. »³⁶

Photo 4 : Réalité virtuelle dans un environnement industriel



Source : Siemens ©

Effets sur le management et l'organisation

D'un point de vue organisationnel, la simulation numérique permet à la fois de centraliser l'expertise et de faciliter le support sur le terrain.

Dans le cas du jumeau numérique ou des modes opératoires de maintenance digitalisés, la modélisation de l'expertise permet de centraliser l'expertise et la faire intervenir dans les cas les plus complexes. Ce qui permet de centraliser les experts sur un site ou plusieurs sites.

La participation des opérateurs à la conception de nouvelles installations est un atout de la solution. La simulation numérique appliquée à la formation des opérateurs et des techniciens constitue un levier pour sa mise en place. Ce nouveau mode de formation permet de faciliter le changement grâce à la mobilisation des équipes sur le projet. La solution contribue également à renforcer l'attractivité de l'industrie auprès des jeunes générations en outillant les usines avec des usages avec lesquels ils sont familiers. Les formations peuvent être réalisées plus rapidement grâce à des modules d'immersion dans l'environnement de production et ainsi optimiser le coût et le temps de formation des salariés. En effet, une fois le jumeau numérique de l'usine réalisé, les nouveaux arrivants peuvent être mis en situation pour prendre en main l'outil de production et découvrir l'environnement de travail.

³⁶ Entretien de Michael Grieves pour le Monde « Le jumeau numérique est un intéressant moteur de l'innovation ».

Cas industriel 4 : Jumeau numérique chez Solvay et Butachimie à Challampé

Contexte du projet

En 2011, Solvay lance un projet usine virtuelle à Challampé. Le site de 125 hectares, employant 1 000 personnes et produisant 40% de la demande mondiale en « sels de Nylon » a accueilli le projet MIRE (migration RS3 étendue). Ce projet a pour but de remplacer l'intégralité du système de contrôle commande. Il s'agit de l'ensemble des équipements et logiciels permettant le pilotage des différentes unités de fabrication : automates, pupitres de contrôle, capteurs et actionneurs, équipements réseau et logiciel de supervision notamment. Les exploitants du site, Solvay, Butachimie et Linde, ont prévu d'investir 12 millions d'euros sur douze ans. Grâce à ce projet, ils souhaitent moderniser l'usine pour les trente prochaines années en intégrant des technologies numériques avancées telles que le jumeau numérique.

Modélisation du site

Il a été nécessaire de modéliser tout le site en trois dimensions afin de disposer d'une maquette virtuelle représentative de l'usine réelle. La première étape consiste à utiliser les plans des bâtiments et les modèles CAO des équipements qui sont dans un second temps affiné grâce à des scanners 3D et des caméras capturant l'environnement réel des machines. La maquette une fois conçue, il est nécessaire de la rendre dynamique pour qu'elle représente en permanence la situation de l'usine réelle. Pour réaliser cela, les techniciens ont travaillé avec les équipes du fournisseur de la solution de contrôle-commande (Siemens) pour décrire les processus sous forme de diagrammes et d'y associer les données de tous les logiciels métiers (électricité, tuyauterie, automatismes, régulation) pour modéliser le comportement de chaque équipement.

Une solution de jumeau numérique

Ceci a permis de créer le double virtuel de l'usine qu'il a ensuite fallu connecter aux valeurs réelles de l'usine. Simit, la technologie de jumeau numérique de Siemens, récupère et duplique toutes les cinq minutes l'intégralité de la base de données d'entrées et sorties du site. D'un point de vue sécurité des bases de données et des échanges entre elles, Solvay a appliqué les principes du « white listing ». Il s'agit de bloquer par défaut tous les accès à l'exception d'une liste de logiciels et d'équipements autorisés. Ainsi personne ne peut se connecter sans être prévu. D'autre part, la configuration des ports des pare-feu est également bloquée par défaut. Enfin des dispositifs d'identification d'agent malveillant ont été mis en place et les communications entre les contrôleurs d'automatismes et les stations de pilotage sont cryptées afin d'éviter les risques de propagation de virus.

Impacts du projet

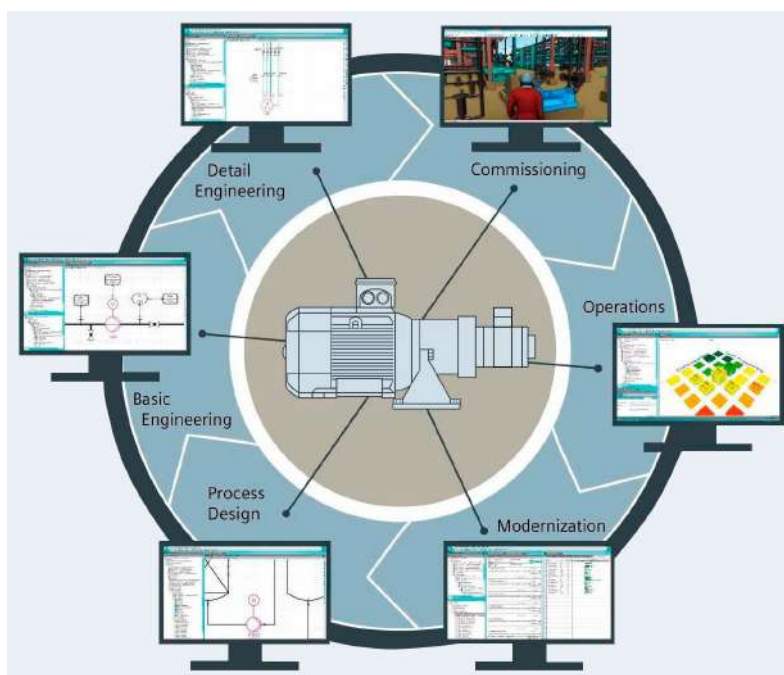
Le projet MIRE a nécessité le réaménagement de 50 locaux techniques, le remplacement de 90 consoles de conduite, le recablage de 34 000 entrées-sorties, la traduction de 3 900 vues d'écran de supervision dans le langage du nouveau système de contrôle-commande. Cependant la difficulté principale rencontrée à Challampé est que les installations ne peuvent s'arrêter que tous les trois ans pendant trois semaines. La gestion du planning est donc cruciale pour effectuer un maximum de tâches en seulement trois semaines. De plus, étant donné qu'il s'agit d'un site à risque, aucun incident ne peut être permis pendant la migration. Grâce au jumeau numérique, les techniciens qui développent des programmes ont pu les tester et effectuer tous les débogages nécessaires pour être sûrs de déployer des logiciels qui fonctionnent du premier coup. D'autre part, le jumeau numérique fait gagner du temps car les tests peuvent être effectués en temps masqué. Toute modification sur un programme est testée au préalable sur la maquette virtuelle, ce qui permet de s'assurer que cela n'entraînera pas de bug dans un autre programme.

Formation et mobilité des salariés

Du point de vue de la formation, le jumeau numérique permet de la faciliter. Grâce à cette usine du futur, il est possible de simuler n'importe quel type d'événement, comme une prise d'air dans une pompe et demander à l'agent d'exploitation en formation de réagir sur un poste d'exploitation virtuel. La réalité virtuelle telle que l'outil de Siemens Comos WlakinSide permet d'immerger le technicien ou opérateur en formation dans l'environnement de l'usine représenté en 3D et de pouvoir accéder aux informations de production et à la documentation des équipements. De cette manière, il peut également s'entraîner et faire appel à un expert éloigné géographiquement.³⁷

³⁷ D'après l'article de l'Usine Nouvelle du 10/12/2015, « Créer un jumeau numérique de son usine »

Photo 5 : Schéma de principe de COMOS de Siemens



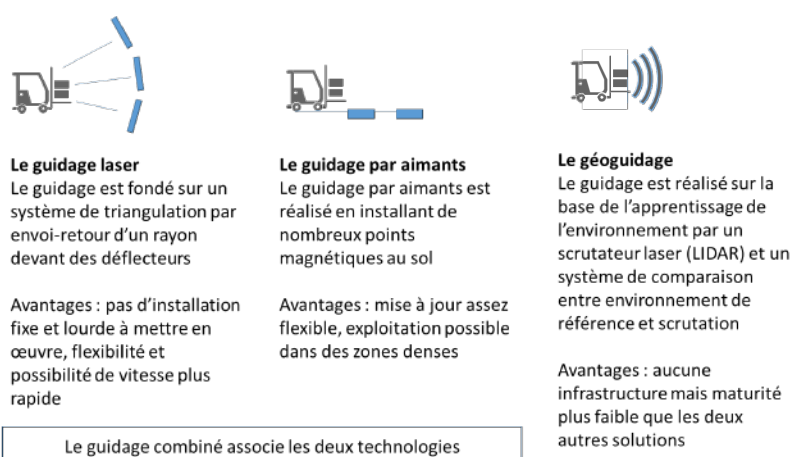
Source : Siemens

Automatisation des activités logistiques

L'automatisation des activités logistiques consiste à utiliser des machines telles que des AGV³⁸ pour l'optimisation des activités logistiques internes.

Cette solution est mature d'un point de vue technologique avec des fournisseurs d'équipements français. Il existe des applications de chariots autoguidés pour l'acheminement des produits matières premières, produits semi-finis ou finis dans l'industrie du papier-carton. Grâce au logiciel de planification des systèmes AGV, les charges transportées arrivent de manière synchronisée aux autres étapes critiques du processus de production. Les cas d'applications sont nombreux: le déchargement de bobines de papier, l'entreposage horizontal dans des entrepôts à hauteur élevée ou empilage vertical au sol, le transport entre deux machines, le stockage intermédiaire des bobines, la gestion des déchets de papiers, le transport des produits finis vers les zones d'expédition.

Figure 12 : Solutions de guidage pour AGV



Source : Analyse EY

³⁸ Un véhicule à guidage automatique (VGA) ou véhicule autoguidé, en anglais : Automatic guided vehicle (AGV) est un robot qui se déplace de façon autonome sans l'intervention humaine. Les technologies d'automatisation traditionnelles sont le filoguidage, le laserguidage et l'optoguidage. Cependant, d'autres technologies aussi performantes existent telles que le géoguidage et le guidage par ultrason.

Effets économiques et optimisation des processus industriels

Un investissement financier est nécessaire pour se doter d'une infrastructure SI et logiciel tel qu'un WMS (warehouse management system) pour l'activité d'entreposage, en plus de l'investissement dans les machines et dans le retrofit des zones de stockage. L'identification de la position des stocks et des emplacements disponibles requiert ce type de logiciel. L'optimisation des flux est une opportunité permise par cette solution. En effet, l'étude de flux est un prérequis dans l'analyse amont du projet de mise en place d'AGV ; il convient de simplifier les flux, de les modéliser, puis de définir quels sont les flux automatisables et ceux qui restent pilotés par des manutentionnaires (flux complexes ou exceptionnels). L'analyse des flux peut être réalisée avec l'aide d'un logiciel de simulation dynamique des flux.

La menace de cyberattaques pouvant impacter la gestion des flux logistiques, et par conséquent la production, est à prendre en compte en identifiant les solutions de protection à mettre en œuvre dans le projet.

Le déploiement de cette solution permet des gains de productivité main-d'œuvre. Elle permet également une meilleure synchronisation des flux entre les activités de production ; cela peut être le cas entre deux équipements industriels amont et aval : l'algorithme de pilotage d'un AGV transportant la matière du poste amont vers le poste aval permet d'assurer un approvisionnement continu et d'éviter les pertes de temps d'attente devant la ligne aval. La solution permet également de réduire les risques d'accident de personne. Enfin, ce type de solutions permet de réduire le taux d'erreur de bobines endommagées lors des manipulations.

L'amélioration de la productivité main-d'œuvre de la logistique ainsi que l'optimisation de la synchronisation des activités internes permet de réaliser des gains pouvant aller jusqu'à 50%.

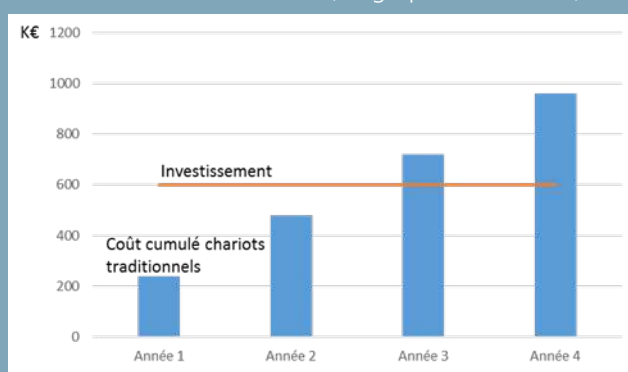
Étude de cas chiffrée : utilisation d'AGV

À titre d'illustration des gains liés à l'utilisation d'AGV, prenons l'exemple d'une activité de stockage en 2x8 (fin de ligne/entreposage). Le remplacement d'un chariot se fait sur la base de 1,5 AGV pour 1 chariot, la vitesse moyenne d'un AGV étant 2 fois inférieure à celle d'un chariot traditionnel mais avec un taux d'utilisation supérieur.

Hypothèses proposées pour cet exemple :

- 3 caristes x 2 équipes – sur une base de coût complet de 35 k€/ETP
- Un coût de location de chariot de 10 k€/chariot/an
- Des coûts de maintenance équivalents entre AGV et chariots traditionnels
- Un investissement de 600 k€ dont 500 k€ incluant les 5 AGV et le système de guidage et 100 k€ de travaux d'adaptation du sol

Le retour sur investissement est de 30 mois dans ce cas (cf. graphique ci-dessous).



Les retours sur investissements constatés vont de 18 mois à 36 mois.

Source : Analyse EY

Effets sur le management et l'organisation

D'un point de vue organisationnel, l'automatisation des activités logistiques permet la sécurité des postes de travail puisque les postes de conducteurs de chariots élévateurs sont supprimés. De fait, les difficultés sociales à implémenter la solution en supprimant directement des emplois peuvent être considérées comme une faiblesse. La réorganisation des postes suite à la mise en place de cette solution nécessite de repositionner les conducteurs d'engins sur des postes nécessitant une formation complémentaire comme par exemple des repositionnements en production. Un accompagnement proche des ressources humaines sur ce type de projet est nécessaire à sa réussite.

Cas industriel 5 : Projet AGV chez Norske Skog à Golbey

En 2012, sur le site de Norske Skog à Golbey, un projet visant à améliorer la performance de leur organisation a consisté en la mise en place de 12 AGV en sortie de production jusqu'à la préparation des commandes. La solution, en plus des chariots, nécessite la mise en place et l'interfaçage d'un système d'information permettant de superviser les AGV ainsi qu'une mise en adéquation de l'environnement, principalement le sol de l'entrepôt.

L'activité était initialement réalisée par 6 chariots élévateurs thermiques en 5/8. Elle a été remplacée par 12 AGV. La différence de nombre de chariots s'explique par la vitesse de déplacement des AGV qui est inférieure à celle des chariots élévateurs conduits par des caristes. Ces AGV, de type gerbeur frontal à pinces, ont été installés pour automatiser les flux de sortie de production et la mise en stock des bobines avant expédition. La pression de serrage est ajustée selon le poids des charges acheminées et le taux de bobines abimées au cours des manipulations est devenu nul versus 200 à 400 bobines abimées par mois précédemment.

Le guidage des AGV se fait par tête laser. Pour cela, 200 réflecteurs ont été installés. Un AGV a besoin de 3 réflecteurs pour se repérer. Il est complété par un guidage magnétique grâce à 3 000 aimants dans la dalle de l'entrepôt.

Il a été nécessaire d'interfacer le système de supervision avec les systèmes d'information de gestion de la production, de gestion de la logistique et de la gestion commerciale.

Le niveau d'investissement nécessaire est d'environ 4,5 M€ dont deux tiers pour les AGV et un tiers pour le reste, c'est-à-dire la construction d'une salle de charge, la fiabilisation de la sortie de production notamment sur la ligne d'emballage pour fluidifier le flux et le nivellement du sol.

Cette transformation a réduit de 22 postes le service expédition du site. Afin d'accompagner cette transformation, un plan de continuité d'activité a été mis en place et l'implication des ressources humaines a été forte. Deux tiers des personnes concernées ont été réintégrées dans l'entreprise dans d'autres services et un tiers a choisi de quitter l'entreprise pour créer une entreprise ou s'engager dans des formations longues. Il n'y a pas eu de départ sans que le salarié ait un projet futur. Ce plan avait été ouvert à l'ensemble de l'entreprise.

Le retour sur investissement a été de 3 ans. Au-delà, d'un effet économique, le principal effet lié la mise en place de cette solution est la sécurité des salariés.

Photo 6 : AGV BA Systèmes sur le site de Norske Skog à Golbey



Source : Léo-Pol Jacquot pour Norske Skog ©

Cas industriel 6 : Projet AGV chez SAPPI à Maastricht

Contexte du projet

SAPPI, acteur mondial sud-africain de l'industrie du papier-carton, s'est équipé d'un système AGV entièrement automatisé pour accroître l'efficacité de la logistique interne des zones de découpe et de conditionnement de son site de Maastricht. L'usine, localisée sur un site de 14 hectares, emploie 4 800 personnes et produit 290 000 tonnes de papier couché sans bois par an. BA Systèmes, fournisseur français de systèmes intra-logistiques avec AGV a réalisé avec succès l'automatisation partielle de la logistique de l'usine de production de papier. La solution, composée d'une flotte de 7 AGV automatisés de type gerbeur frontal, a permis d'automatiser efficacement les flux de production et de stockage. Complètement intégrée au processus de production et fonctionnant 24h sur 24, 7 jours sur 7, la solution AGV prend en charge : le transport du papier depuis les machines de découpe vers la zone de stockage tampon, la gestion logistique et la manutention de la zone de stockage tampon et le transport de papier depuis le stock tampon vers les machines d'emballages de ramettes.

Mise en place de la solution

La solution développée par BA Systèmes est une solution clé en main. Elle a nécessité une analyse logistique approfondie en amont de la mise en place. La solution complète est composée des 7 AGV, d'un système de changement de batterie automatique (Autoswap) et d'une gestion du trafic *via* AGV Manager, le système de supervision de BA Systèmes. Le projet comprenait également la fourniture des racks et de l'interface avec des systèmes de convoyage existants et nouveaux. L'une des principales préoccupations de SAPPI était de préserver les feuilles de papier palettisées. Les AGV ont donc été adaptés par BA Systèmes pour assurer l'intégrité des charges fragiles pendant le transport. La diversité des charges à transporter, une trentaine avec des dimensions différentes, parfois instables à la manipulation, a nécessité la réalisation de tests approfondis pour garantir une manipulation sûre des différents formats. Ils ont été équipés de dossier de charge pour maintenir l'intégrité des piles en cas de freinage d'urgence, d'un nouveau dispositif de pressage pour garantir la stabilité de la pile de papier aux moments de prise, transport et de dépose et éviter tout risque de déformation ou de perte de feuilles individuelles, un positionneur de fourches pour manipuler en toute sécurité de la plus petite à la plus grande charge et un TDL (déplacement latéral) pour optimiser le stockage et minimiser les espaces vides dans les racks. Le système fonctionne à la fois en zone de production et de stockage et est totalement flexible et s'adapte à toutes les exigences. Les AGV peuvent être transférés d'une zone à l'autre si nécessaire par un opérateur *via* une commande sur un clavier.³⁹

Intensification des procédés

L'intensification des procédés est une solution composée notamment des méso-réacteurs, réacteurs de microstructure permettant une réaction en continu.

L'un des effets de ce type de solution est la sécurité des installations. Les réactions chimiques ayant lieu en continu et dans des proportions beaucoup plus faibles, les risques d'explosion sont plus faibles car les réactions ont lieu dans des environnements plus doux notamment en terme de température et de pression. Les quantités de réactifs sont plus faibles ce qui minimisent les risques en cas d'explosion.

Un méso-réacteur peut être intégré dans une ligne de production avec des procédés batch traditionnels. Il est ainsi possible de mettre sous contrôle une ou plusieurs étapes critiques du process en amont ou en aval du batch.

Le flux étant continu, les actes de maintenance sont bien moins conséquents que pour les processus batchs et portent principalement sur les joints de l'équipement. La durée de ce type de projet est comprise entre six mois et un an mais cela peut prendre plus de temps selon le temps de validation du projet avant son lancement au sein de l'industriel et de la validation du produit obtenu par les autorités compétentes.

³⁹ D'après le communiqué de presse de BA Systèmes du 14 novembre 2017

Figure 13 : Présentation des différentes étapes d'intégration de méso-réacteur d'un laboratoire à une production industrielle



Source : Corning Inc, « pictures are courtesy of Corning Inc » ©

Effets économiques et optimisation des processus industriels

D'un point de vue économique, il n'y a pas d'effet de mise à l'échelle une fois l'expérimentation en laboratoire faite. Le passage à une production industrielle peut se faire plus rapidement que pour un système batch où la mise à l'échelle est souvent longue et coûteuse. C'est-à-dire que le passage d'une phase de test en laboratoire à une phase pilote puis à une phase d'industrialisation est plus rapide lors de la mise en place d'un processus continu avec un méso-réacteur car il est plus facile de comprendre la cinétique d'une réaction en continu que d'une réaction en batch. L'un des effets économiques correspond à la réduction des déchets en procédé continu par rapport à un procédé en batch. Pour le procédé en continu, il est possible d'ajuster les réglages de l'équipement de manière dynamique, c'est-à-dire au fur et à mesure que le flux s'écoule. Lorsque les réglages sont mauvais et qu'ils entraînent une production de mauvaise qualité, seule la quantité de matière produite pendant que les réglages sont ajustés est à jeter. Dans un processus batch, lorsque l'équipement est mal réglé, tout le batch est à jeter, ce qui peut représenter une quantité beaucoup plus importante de matière. Les gains énergétiques d'un processus continu par rapport à un processus en batch sont également un effet économique du déploiement de cette solution. Pour un processus en batch il peut être nécessaire que la réaction se fasse à moins 150°C quand elle peut se faire à 10°C dans un méso-réacteur. Ainsi la quantité d'énergie pour maintenir la température d'une cuve en batch à moins 150°C par rapport à un réacteur en continu à 10°C, est beaucoup plus importante. L'intensification des procédés permet également de réduire la quantité de sous-produits et d'optimiser le rendement matière de la réaction. Cette solution permet de réduire significativement la consommation énergétique car le transfert thermique est plus efficace par ce type de procédé avec moins de déperdition. Le besoin en catalyseur pour une réaction chimique donnée est inférieure en méso-réacteur par rapport à un système en batch. L'un des autres atouts de cette solution est la sécurité de ce type d'installations. Les quantités mélangées sont beaucoup plus faibles et les réactifs exogènes sont plus facilement maîtrisables. L'opportunité clé de l'intensification des procédés est la capacité à pouvoir produire théoriquement par des méso-réacteurs tout ce qui se fait par système batch. C'est-à-dire que théoriquement, toute production aujourd'hui réalisée en batch peut l'être en process continu via un méso-réacteur. Par contre, il peut y avoir des problèmes techniques lors de la mise en œuvre comme de la cristallisation qui peut obstruer les canalisations du réacteur.

La réduction des CAPEX par rapport une installation classique de process en batch permet de réaliser des gains allant jusqu'à 40% par rapport à une installation traditionnelle. De plus, l'intensification des procédés permet d'améliorer le rendement matière et notamment la réduction de la consommation d'eau, d'énergie et de catalyseur pouvant aller jusqu'à 30%. Enfin, elle améliore la vitesse de production puisque les réactions se font en continues de manière quasi-instantanée.

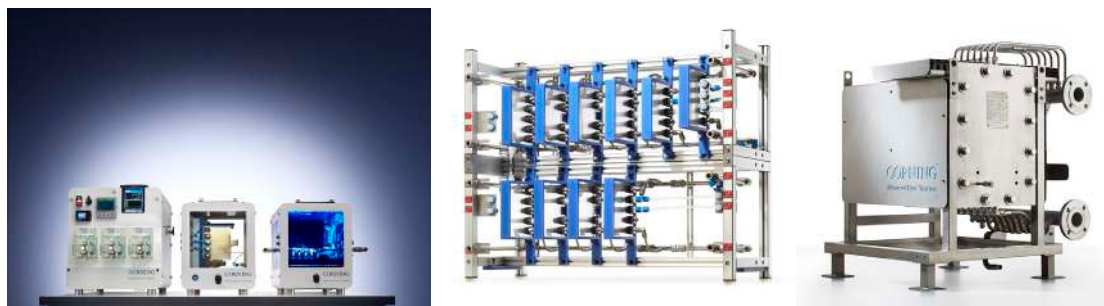
Effets sur les compétences

Cette solution nécessite des compétences particulières en maîtrise des réactions en process continu. Elle nécessite aussi une capacité de conduite du changement et d'influence de la part des départements process, ce type de procédé étant encore peu utilisé de manière industrielle en France.

Cas industriel 7 : Mésoréacteur Corning chez Angelini Pharma à Appria en Italie

A Appria en Italie, Corning a travaillé avec Angelini Pharma pour mettre en place l'un de ses réacteurs continus, Advanced-Flow Reactors (AFR) technology. Dans un premier temps, début 2015, Angelini a commencé à travailler avec Corning pour installer une ligne pilote de réacteurs G1 au sein de leurs installations. Corning a fourni deux réacteurs, l'un en verre et le second en carbure de silicium. Mi-2016, ils ont décidé de passer au réacteur G4 peu après avoir réussi le déploiement de leur produit dans l'installation pilote des premiers réacteurs. Corning a fourni une installation ATEX permettant à Angelini de se soumettre aux exigences qualité du secteur pharmaceutique, aux exigences de la Food & Drug Administration (FDA) et aux tests d'acceptation de l'usine. Corning a également fourni la documentation des qualifications opérationnelles des installations. Angelini produit, vend et distribue des produits pour la santé et le bien-être. Les réacteurs en flux continu ont permis l'industriel de réaliser des synthèses chimiques qui n'étaient pas commercialement viables auparavant tout en améliorant leur rendement, la qualité du produit, la faisabilité et l'efficacité du processus chimique. Cette solution a également permis de réduire la variabilité de la performance et des coûts. La mise en place de ce type de technologie permet à Angelini d'envisager de nouvelles opportunités pour la production de principe actif.

Photo 7 : Différents types de mésoréacteurs



Source : Corning Inc, « pictures are courtesy of Corning Inc » ©

Simulation de formulation et conception produits grâce à l'IA

Cette solution correspond à la simulation pour modéliser de nouveaux types de molécules afin d'accélérer la conception de nouveaux matériaux.

La simulation se rapproche du big data et de l'intelligence artificielle dans le calcul intensif. Une convergence qui impose de repenser l'architecture des calculateurs. L'intelligence artificielle simule les systèmes complexes, comme un assemblage moléculaire, en modélisant leurs constituants, leurs comportements, les interactions entre ces constituants et avec leur environnement. Ensuite, elle exécute numériquement le modèle obtenu.

Les possibilités de mise sur le marché de nouvelles molécules change d'échelle ; aujourd'hui, on sait déjà produire 100 millions de molécules différentes, alors que le nombre de molécules serait entre 100 et 1000 fois supérieur entre le répertoire des molécules que l'on sait déjà synthétiser et celles qu'il nous reste à découvrir comment fabriquer. Appréhender ce grand nombre de possibilités devient possible grâce à la simulation de formulation.

Les faiblesses actuelles de la solution sont un temps de calcul très long et une difficulté à évaluer et modéliser les interactions entre éléments moléculaires. Les limites actuelles de modélisation apparaissent à partir de 50 électrons dans une molécule, les ordinateurs classiques ne peuvent alors plus simuler leur dynamique, ce qui correspond à quelques atomes à peine. Il faut alors avoir recours à des ordinateurs de grande puissance ou à des ordinateurs de simulation de calcul quantiques.

Effets économiques et optimisation des processus industriels

D'un point de vue économique, les gains en temps de développement peuvent être très importants en réduisant les délais d'expérimentation industrielle. Les boucles de temps se raccourcissant entre développement de

formulation et expérimentation, le « bon du premier coup » devenant atteignable, le temps et la charge ainsi gagnés permettent à la R & D de développer de nouvelles applications ou d'offrir une capacité de développement de produits personnalisés pour des applications particulières des clients. Le délai de mise sur le marché se retrouve ainsi réduit permettant de capter des parts de marché en premier sur de nouvelles applications. Cette solution permet de réduire le temps de développement d'une nouvelle formulation. La simulation de formulation permet également d'optimiser son portefeuille de développement produit en le rationalisant. En effet, le taux de succès des projets lancés peut augmenter avec cette technologie. Les retours d'expérience ne sont pas suffisants pour évaluer les gains potentiels.

Effets sur les compétences

Le mode de programmation adapté aux ordinateurs quantiques ou simulateurs quantiques est très différent des modes de programmation traditionnels pour lesquels l'exécution peut se faire ligne à ligne. Les résultats sont statistiques et nécessitent de nombreux calculs pour converger vers un résultat. Ce mode programmation nécessite des compétences spécifiques - des experts en calcul quantique - qui doivent travailler de pair avec une expertise métier.

Effets sur le management et l'organisation

Le recours à des compétences spécifiques qui peuvent être rares ainsi que le niveau de CAPEX nécessaire pour s'équiper de grosses puissances de calcul vont nécessiter sans doute une mutualisation des ressources techniques et humaines pour ce type de solution. Le CCRT (Centre de Calcul Recherche et Technologie) du CEA propose ce type de formule pour d'autres secteurs (nucléaire et défense).

Effets sur la chaîne de valeur

La mutualisation de puissances de calcul peut modifier la place de la R & D et ainsi être amené à sous-traiter, en collaboration, une partie de celle-ci auprès d'organismes tiers.

Cas industriel 8 : Super ordinateur quantique Quriosity de HP chez BASF

BASF a investi dans un super ordinateur quantique, appelé Quriosity, avec Hewlett Packard. Le système a été livré en juin 2017. Il est utilisé par les 10 000 chercheurs du groupe et offre une puissance de calcul 10 fois supérieure au système précédent avec des possibilités de traitement de modèles beaucoup plus complexes et de variation de nombreux paramètres. Par exemple, un fongicide soluble dans l'huile a été formulé pour permettre sa dispersion dans l'eau afin que les agriculteurs puissent l'épandre dans les champs. D'une base de 23 monomères, 3 adjuvants et 10 solvants, les chercheurs de BASF avaient ainsi 104 combinaisons possibles de polymères et 100 millions de formulations possibles ; sans le recours à la puissance de l'ordinateur, le développement produit aurait pris 1 000 ans.

IoT lié au produit

La solution correspond à la mise en place de capteurs liés au produit permettant de mieux comprendre l'usage qu'il peut être fait d'un produit et de tracer les flux des produits, pour ainsi faire évoluer l'offre proposée aux clients (i.e. : comprendre la fréquence d'utilisation d'un produit afin de proposer un service de reapprovisionnement des stocks par exemple.)

La technologie associée à cette solution est mature et des acteurs français proposent des solutions pertinentes pour les secteurs de la chimie et du papier-carton.

Effets économiques et optimisation des processus opérationnels

D'un point de vue économique, la gestion et la traçabilité des contenants tels que des fûts dans le secteur de la chimie permet de réaliser des gains sur les contenants onéreux. En effet, une meilleure gestion d'une flotte de contenants permet d'éviter les pertes ou les vols de matériels et ainsi de réduire les dépenses liées au taux de remplacement d'une flotte. De plus, elle permet de réduire les stocks grâce à une gestion au juste besoin. D'autre part, l'exploitation de données de consommation d'un produit vendu, l'accès à des informations permettant de s'assurer de l'authenticité des produits stockés, la traçabilité des conditions de transport d'un produit... sont des nouveaux services qu'un industriel peut offrir à son client et ainsi se différencier de ses concurrents.

Le potentiel de création de nouveaux services grâce à ces données, génératrices de valeur, peut être un atout économique de l'IoT lié au produit. Cependant, les retours d'expérience sur les nouveaux usages permis par l'IoT, dans d'autres secteurs, montrent qu'il peut être difficile de valoriser les services proposés ; néanmoins ces nouvelles propositions de valeurs permettent de maintenir ou de développer de nouvelles parts de marché par différenciation. L'opportunité offerte par cette solution est de renforcer la relation client. Elle ne s'arrête pas à la livraison du produit mais s'inscrit dans la durée. Comme pour les solutions « digitales » générant de la donnée et avec de la connectivité, les menaces de cyberattaques, pertes ou fuites de données, constituent des menaces pour les entreprises souhaitant mettre en place ces solutions.

L'IoT lié au produit permet d'améliorer la productivité de la main-d'œuvre des services clients : un service de gestion de stocks automatisé grâce à des contenants connectés permet de d'optimiser l'activité des fonctions ventes et logistique. En effet, les informations sur les mouvements et niveaux de stocks n'ont plus besoin d'être suivis manuellement par des opérateurs car ces informations sont directement transmises et remontées par la solution. Les opérateurs n'ont plus besoin d'effectuer des rondes quotidiennes pour réaliser un état des lieux de la position et des niveaux de stocks des bobines. Les informations collectées sur les flux de produits et l'évolution du niveau des stocks sont accessibles par le fournisseur de produits et le client

Il n'y a actuellement pas assez de retour d'expérience sur le sujet pour évaluer les gains mais le potentiel de cette solution est semblable à celui d'une marketplace.

Effets sur le management et l'organisation

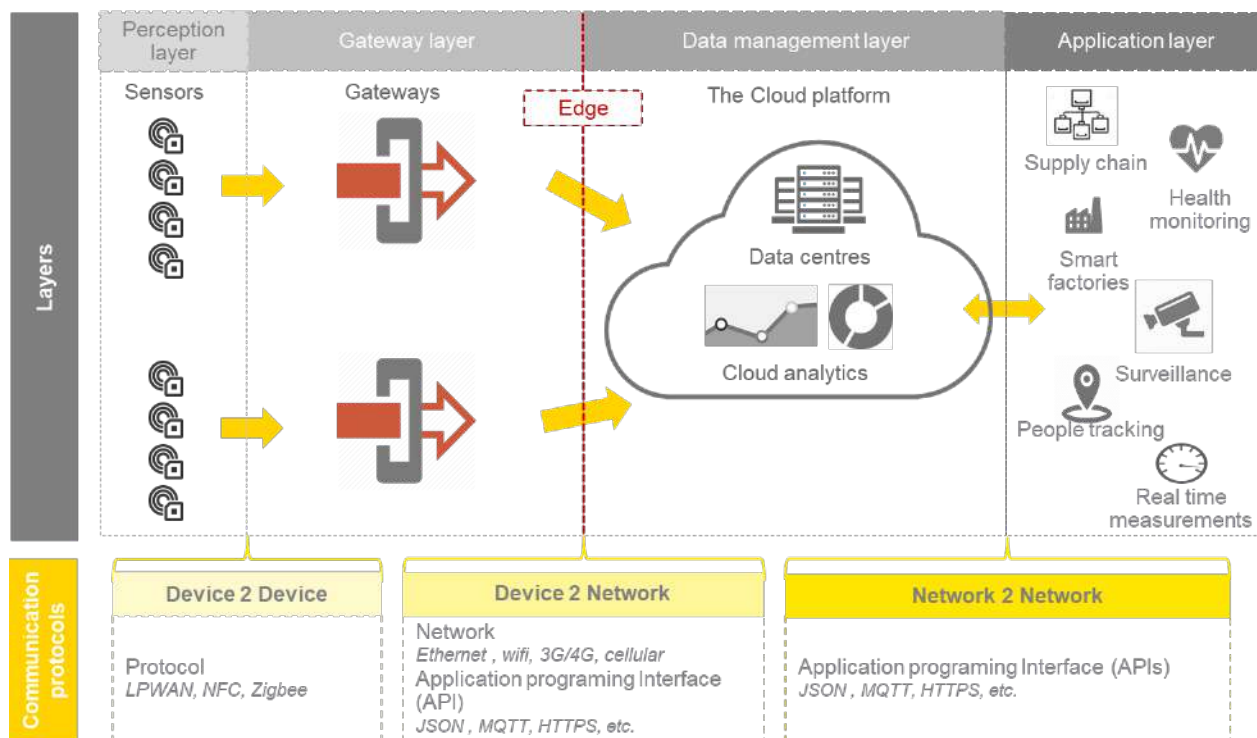
Ce dernier point offre l'opportunité de créer de nouvelles offres de services. Mais, pour exploiter ces données, et créer de nouvelles offres, il est nécessaire de faire collaborer de manière plus intégrée service client, supply-chain, marketing, ventes, développement produit, informatique au sein des entreprises. Pour l'industrie chimique, comme pour le secteur pharmaceutique et l'industrie agroalimentaire, il existe une exigence croissante du consommateur final pour plus de transparence et de traçabilité quant aux produits qu'il consomme nécessitent de partager les historiques des flux entre différents acteurs de la chaîne de valeur.

Ainsi, des architectures combinant IoT lié au produit et blockchain apparaissent. La blockchain permet de se doter d'un enregistrement sécurisé des données liées à la vie du produit et l'IoT lié au produit permet de suivre automatiquement les événements dans la vie du produit (recueil de données pendant le transport, transactions, consommations,...)

Cas industriel 9 : Traçabilité grâce à l'IoT lié au produit

Chornicled, dans le secteur pharmaceutique, a par exemple lancé en novembre 2016 le projet CryptoSeal, un projet alliant la technologie NFC (qui fait le lien entre monde physique et monde numérique) et la blockchain. L'idée ici est d'utiliser une puce NFC pour contenir des données d'authentification au préalable enregistrées sur une blockchain. Cette puce, apposée sur les boîtes de médicaments, doivent permettre un suivi particulièrement fiable.

Figure 14 : Vue d'ensemble d'une architecture IoT



Source : Analyse EY ©

Cas industriel 10 : Alizent, la filiale d'Air Liquide qui équipe les réservoirs de capteurs

Air Liquide a créé une filiale – Alizent – afin de développer et offrir des solutions IoT de gestion des actifs industriels.

Plusieurs développements sont proposés :

- Équipement des réservoirs et bouteilles installés sur les sites clients en capteurs connectés afin de connaître niveau et consommation pour optimiser les transports de remplètement.
- Transport de vaccins dans des conteneurs équipés d'un suivi de température
- Solution de contrôle et de maintenance prédictive conçue pour des clients brasseurs, permettant de déclencher une alerte *via* le réseau Sigfox en cas de température de bière anormale et d'anticiper les besoins de maintenance des appareils.

Cas industriel 11 : IoT produit de FFLY4U chez Nexans

Contexte : L'entreprise française FFLY4U accompagne les industriels dans la transformation digitale de leur supply chain. L'un de leur cas d'usage intéressant pour les acteurs des secteurs de la chimie et du papier-carton est la géolocalisation de tourets en extérieur. FFLY4U a accompagné Nexans, leader dans l'industrie du câble, à mettre en place un suivi de sa flotte de tourets qu'il met à disposition de ses clients comme Enedis. Nexans utilise ces tourets pour stocker et transporter les câbles de ses clients.

Problématique : Chaque année, ils dépensent plusieurs millions d'euros en louant ces tourets. La collecte de tourets vides et l'achat de nouveaux pour renouveler la flotte égarée, volée ou endommagée est un poste de coût important pour Nexans. Le coût annuel de la logistique retour des tourets dépasse le milliard d'euros et les pertes ainsi que l'investissement pour l'achat de nouveaux tourets est d'environ 500 k€. Cette gestion non optimale a un fort impact sur la rentabilité du modèle de Nexans.

Solution : Pour répondre à cette problématique, FFLY4U a accompagné Nexans pendant 6 mois en mettant en place des capteurs GPS sur une flotte de 550 tourets répartis sur 2 sites. La géolocalisation des tourets pouvait alors se faire *via* un portail web. Le dispositif mis en place a ainsi permis de réduire les temps d'immobilisations sur les chantiers, de réduire les coûts de gestion de tourets de l'ordre de 20%, d'optimiser les flux de transport retour et de suivre en temps réel l'avancée des chantiers sur les sites d'Enedis. Ce projet a été une réussite et les perspectives d'évolution vont du développement à des sites internationaux à l'extension de l'assise technologique *via* différents réseaux en passant par l'élargissement de la solution à d'autres matériels.

Plateforme collaborative externe

Il s'agit d'une plateforme en ligne ouverte à des acteurs externes à l'entreprise permettant de partager de l'information telles que des bonnes pratiques, des besoins clients, des données logistiques, de production ou maintenance, des travaux de recherche... Ces acteurs peuvent être des donneurs d'ordre/sous-traitants, clients/fournisseurs, partenaires R & D/industriels, ensemble des contributeurs à une même chaîne de valeur, industriels de la chimie ou d'autres secteurs mais servant un même marché...

Effets économiques et optimisation des processus industriels

Le partage d'information entre collaborateur d'une même entreprise ou au sein d'une communauté inter-entreprises exerçant le même métier permet d'optimiser l'efficacité de l'amélioration continue au sein d'une entreprise. Les gains sont des gains de temps dans les activités d'amélioration continue.

Effets sur le management et l'organisation

D'un point de vue organisationnel, la plateforme collaborative favorise la coopération entre les fonctions, les différents métiers ou les différentes entités d'une entreprise ou même entre entreprises. La solution permet ainsi de faire tomber les silos d'une entreprise dans une recherche d'efficacité dans les différentes fonctions de l'entreprise grâce à la plateforme collaborative. D'un côté les services traditionnels doivent accepter de partager et d'expliquer leur métier et leur processus aux services numériques. D'un autre côté, les services numériques doivent comprendre les réticences des services traditionnels et leur montrer les bénéfices qu'ils tireront en utilisant ce type de solution. Par ailleurs, l'accès à des informations stratégiques par un acteur externe est rendue possible par la plateforme collaborative. Il est nécessaire pour les industriels d'être vigilants afin de se prémunir de cette menace. Le recours à des tiers de confiance gérant des plateformes collaboratives permet d'assurer la confidentialité des informations.

Cas industriel 12 : MobilityWork, plateforme numérique de maintenance

MobilityWork est une plateforme de partage en forme de réseau social de maintenance industrielle, accessible sous forme d'une application mobile... Cette *start-up* française, créée en Ariège, rassemble plus de 200 000 équipements industriels dans plus de 80 pays. L'objectif est de partager les problématiques et résolutions de problèmes de manière anonyme entre entreprises ayant le même type d'équipements. Elle peut mettre aussi en relation des fournisseurs et prestataires de services avec les industriels membres du réseau.

Ce système offre la possibilité également de gérer son parc d'équipements industriels en forme d'alternative à une GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur).

Les données (équipements, pièces détachées, documents,...) peuvent rester privées ou rendues publiques. Les noms des entreprises et des employés ne sont pas disponibles publiquement.

Ce type de solution est abordable pour une PME – sur la base d'un abonnement de 30 euros par mois et par technicien.

Effets sur la chaîne de valeur

La valorisation de ces données en cherchant à offrir des services complémentaires est une opportunité exploitable par l'entreprise. Les acteurs amont ou aval de la chaîne de valeur de l'industriel peuvent également être à l'initiative de la mise en place d'une plateforme collaborative externe. Par exemple dans le domaine du packaging, la plateforme Packitoo permet aux industriels ayant besoin d'emballages de trouver des industriels à même de leur proposer ce qu'ils recherchent. Ce type de plateforme permet aux papetiers de valoriser leurs produits auprès du client final.

Cas industriel 13 : BoostAeroSpace, plateformes numériques de la filière aéronautique

BoostAeroSpace gère les plateformes numériques de l'aéronautique. Elles ont été créées par Airbus, Dassault, Safran et Thales. BoostAeroSpace propose trois types de services pour ses membres de la filière aéronautique :

- Air Collab : partage des espaces projets ;
- Air Design : échange sécurisé de données techniques en phase de conception et d'industrialisation ;
- Air Supply : échanges logistiques entre clients et fournisseurs, du plan d'approvisionnement à la livraison des matériels.

La dimension écosystème a un sens particulier pour cette solution. Afin de renforcer leur position dans un secteur donné, les entreprises tendent à s'organiser et se regrouper afin d'avoir une existence intégrée au sein d'un écosystème. Ce type de solution va renforcer l'emprise de plusieurs acteurs sur un secteur donné. Par exemple, un écosystème composé de docteurs, hôpitaux, assurance maladie, pharmacie, sport et remise en forme et chimie alimentaire aurait vocation à proposer un mode de vie sain. Une communauté regroupant ces acteurs, cherchant à répondre à une même proposition de valeur est un levier pour le développement des plateformes collaboratives. Les acteurs de l'aéronautique se sont regroupés par exemple au sein de plateformes avec BoostAeroSpace.

Photo 8 : Schéma de principe de la plateforme AirSupply et ergonomie de l'outil⁴⁰



Source : BoostAeroSpace ©

⁴⁰ Source : BoostAeroSpace

Figure 15 : Schéma présentant le principe de la plateforme numérique Air Supply de Boost Aerospace⁴¹



Source : BoostAeroSpace ©

Marketplace

La marketplace est un cas d'usage de la plateforme collaborative externe. Elle est considérée distinctement de la solution précédente car son objectif est avant tout marchand et que son pouvoir de disruption sur le marché d'un secteur donné est potentiellement conséquent. Ainsi, elle porte un sujet économique important pour l'ensemble des acteurs de la filière de la chimie ou du papier-carton. Il s'agit d'un site internet rassemblant un ou plusieurs acheteurs avec des fournisseurs afin de réaliser des transactions commerciales. Ainsi, les atouts, faiblesses, opportunités et menaces de la plateforme collaborative externe s'appliquent également à la marketplace. D'autres atouts, faiblesses, opportunités et menaces sont détaillés ci-après.

La force de la marketplace est qu'elle concentre les demandes des produits issus de plusieurs fabricants. Ceci lui confère une vision du marché plus forte que celle d'un fabricant vendant uniquement ses produits. L'agrégation dans une même base de données des besoins client à partir de l'historique des commandes permet par exemple de donner des tendances, de proposer aux fabricants de standardiser ou personnaliser les produits proposés.

Une marketplace peut être opérée par un acteur externe au secteur ou un acteur du secteur.

Quatre objectifs peuvent être poursuivis avec la mise en place d'une marketplace par un industriel ou en coopération avec un industriel :

- L'élargissement de l'offre produits
- L'amélioration du service au client
- L'amélioration de la rentabilité
- La réduction du risque de pertes d'activités par désintermédiation

Effets économiques et optimisation des processus industriels

D'un point de vue économique, une marketplace permet de massifier les volumes de ventes de plusieurs entreprises et d'élargir l'offre produit. Ce type de plateforme propose un catalogue plus large et plus varié qu'un site marchand traditionnel car elle centralise la plupart des offres et demandes d'un domaine d'activité. Le nombre de visiteurs sur une marketplace est d'autant plus important que ce qu'elle propose est intéressant, à la fois en terme de prix que de variété d'offres. Un nombre de visiteurs important permet d'augmenter son volume de ventes, par un phénomène renforçant l'attractivité de la marketplace de façon cumulative.

La sécurisation des échanges financiers est une opportunité offerte par la solution. En effet, dans le cadre de leur activité, elles fournissent des services de paiement (acquisition d'ordres de paiement et exécution d'opérations de virement associé à un compte de paiement) puisqu'elles encaissent les fonds pour le compte des vendeurs pour leur reverser ensuite. La détention de fonds pour le compte de tiers les fait entrer ainsi dans le champ régulé de la directive sur les services de paiement. Le fait de limiter l'accès à une marketplace à des acteurs économiques référencés permet de s'assurer de la destination des matières vendues. Une liste de critères d'accessibilité à une marketplace permet de mettre sous contrôle la vente de certains produits, notamment dans la chimie où des produits peuvent être dangereux pour la société ou l'environnement. Enfin, les flux financiers sont tracés via cette marketplace et peuvent être protégés par de la cybersécurité ou la mise en place de blockchain par exemple.

⁴¹ Source : BoostAeroSpace

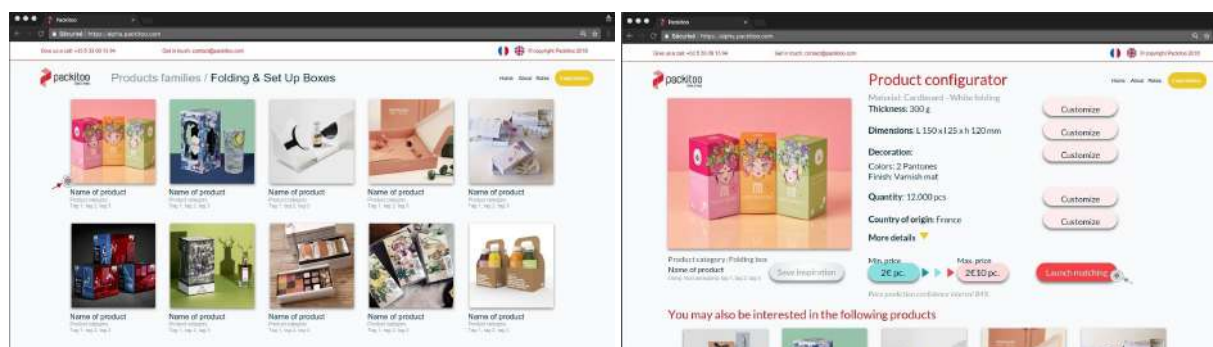
Mettre ses produits en vente sur une marketplace permet d'atteindre de nouveaux marchés de manière facilitée alors qu'il serait plus difficile, long ou coûteux de viser de nouveaux clients *via* les circuits de distribution traditionnels.

La vision du marché ainsi offerte par une plateforme permet de mieux identifier les tendances sur des produits donnés et faciliter ainsi la planification de production – si cette information est partagée entre la plateforme et les industriels.

Ainsi, un opérateur mettant en œuvre et contrôlant une telle plateforme bénéficiera d'une concentration de données utiles pour agir sur différents segments de la chaîne de valeur en occupant par exemple le domaine de la formulation ou de l'adéquation produit-besoin, le conditionnement, ou encore la distribution simple ou groupée de produits.

La marketplace permet de générer des gains en améliorant la productivité main-d'œuvre des services clients. Packitoo, jeune entreprise française, a créé une marketplace visant à réinventer le mode de choix du packaging. Le temps du processus de commandes est aujourd'hui long et avec un taux de conversion de vente faible. Les allers-retours entre le client les équipes de ventes et les équipes des bureaux d'études qui évaluent le montant des prestations et proposent des devis sont les causes d'un manque de réactivité impactant les revenus et ont un coût du travail significatif entraînant des baisses de marges. Une marketplace permet grâce aux quantités importantes de données disponibles d'évaluer et de proposer en instantanée le montant d'une prestation de packaging. Le client peut ainsi adapter sa commande immédiatement s'il réalise que son budget est inférieur au budget dont il dispose. Ainsi la marketplace propose une réactivité au client et permet au client et à l'industriel d'économiser du temps des services de ventes et des bureaux d'études et ainsi de les faire travailler sur des activités à plus forte valeur ajoutée telles que la conception de nouveaux produits de packaging.

Photo 9 : Illustration de visuels de marketplace



Source : Packitoo ©

Effets sur la chaîne de valeur

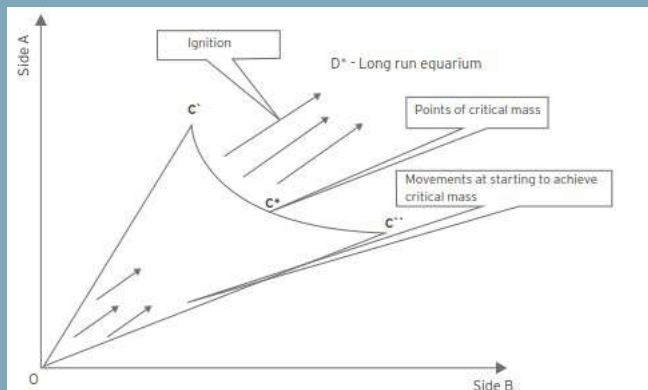
L'ouverture d'une marketplace par un acteur externe au secteur présente une menace pour les industriels de la filière car cet intermédiaire sera en position de capter la relation client et donc une part de la valeur générée par les industriels.

Market places – quelques éléments sur le risque de désintermédiation

La désintermédiation représente la diminution du rôle des intermédiaires au profit des transactions directes entre clients et fournisseurs. Cette désintermédiation peut s'insérer au sein des fonctions de l'entreprise. Une partie du service client, de la logistique, de la prévision de ventes, et même de la relation client au sens de la prescription du produit. Dans un scénario extrême, les activités de formulation, conditionnement, distribution pourraient revenir entre les mains de l'opérateur de marketplace au détriment du fabricant, relégué à une simple fonction de production (cf. schéma ci-après). Dans le scénario présenté ci-dessous, un gros acteur marketplace aurait, par exemple, la capacité d'investir dans la simulation de formulation ou dans des outils de recherche du meilleur produit par rapport à des spécifications clients données, grâce à sa relation client. De la même manière, il aurait la capacité d'investir dans des entrepôts dédiés au stockage et conditionnement de produits chimiques. En possédant le conditionnement, si celui-ci est connecté, il peut maîtriser la gestion de stocks et de commandes de son client. Ceci afin de capturer le maximum de valeur. Mais pour atteindre le niveau d'un Amazon dans le commerce dans un environnement industriel comme celui de la chimie, le système de marketplace devra sans doute être plus sophistiqué.

Un certain nombre de marketplaces ont été lancées dans le secteur de la chimie avec de fortes ambitions ; quelques-unes fonctionnent actuellement sans avoir pris un positionnement de leader. Se positionner uniquement sur le prix en baissant les coûts de transaction peut être valable pour les produits de commodités

mais ne peut couvrir l'ensemble du secteur. Cependant, le mécanisme visant à chercher une forte croissance dans les transactions demeure essentiel. À partir d'une certaine masse critique de flux capté par une marketplace, celle-ci peut devenir incontournable. Sur le schéma ci-dessous, différentes industries (sides) sont rassemblées au sein d'une marketplace thématique. C'est en réalisant des marketplaces autour d'un écosystème donné que l'on peut parvenir à sortir de la trappe à la baisse des prix que peut entraîner une marketplace fondée uniquement sur la baisse des coûts de transactions.



Source : David S. Evans - Matchmakers: The New Economics of Multisided Platforms – HBR ©

L'objectif d'une marketplace est d'assurer le bon ratio de participants côté offre et demande. Les participants à la marketplace peuvent être issus d'industries différentes (par exemple le secteur de l'impression additive : fabricant de matière (chimie), fabricant de machine d'impression additive, éditeurs de logiciels,...) et peuvent partager plus que des commandes pour optimiser une chaîne en ayant une vision supply-chain de bout en bout : partage de prévisions, planification synchronisée, gestion des taux d'utilisation des capacités. Organiser de telles marketplace avec des échanges sophistiqués nécessite une coopération et un contrôle du tiers de confiance qui opérerait la marketplace ; ce type de solution peut être un rempart aux effets de la désintermédiation qui pourrait réduire les marges des industriels avec un positionnement uniquement marchand et focalisé sur le prix.

Une fois que la quantité de données acquises est suffisamment importante, il est possible d'appliquer des algorithmes pour optimiser la correspondance entre le besoin d'un client et les offres qui lui sont proposées. Par exemple, dans le packaging, les phases d'expression du besoin et de réalisation d'un devis sont longues et demandent aux acheteurs et aux bureaux d'étude de passer du temps à examiner le besoin et à proposer un devis cohérent et permettant à l'industriel de rentrer dans ses frais. Cependant, le taux de conversion d'une demande de devis en une vente pour cette activité est très faible, environ 25%. Grâce à un algorithme de marketplace suffisamment fourni en données historiques, il est possible pour un client d'exprimer son besoin directement sur la plateforme et de disposer d'une estimation du coût.

La solution marketplace a, lorsqu'elle est adoptée par de nombreux acteurs d'une filière, un impact conséquent sur la chaîne de valeur de la filière concernée. En effet, l'acteur mettant en place ce type de solution va capter la valeur notamment grâce à une meilleure connaissance du client.

L'un des enjeux, dans la chimie en particulier, va être de conserver la formulation et les secrets de mise en œuvre au niveau de l'industriel, de manière à cantonner la marketplace uniquement sur le rôle de canal de vente, en minimisant l'immiscion dans la relation client. Cette connaissance client, si elle de plus couplée avec des contenants connectés, permet une connaissance précise des usages du client. Ainsi, entre les spécifications du produit collectées par la marketplace et les usages permettant notamment de maîtriser la distribution du produit, une marketplace peut se mettre en position forte et reléguer l'industriel à uniquement l'activité de production. Dans le cas où un acteur externe proposerait aux acteurs de la filière ce type de solution, les industriels devront lutter contre un risque de désintermédiation. Airgas, producteur et distributeur américain de gaz industriels, a été acquis dans cette optique par Air Liquide, ainsi que pour sa capacité à renforcer la relation client. Une part significative des ventes d'Airgas se fait sur son site internet. Ce type de solution pourrait être une tendance forte du marché de la chimie – dans l'objectif de capter le besoin client et la relation client.

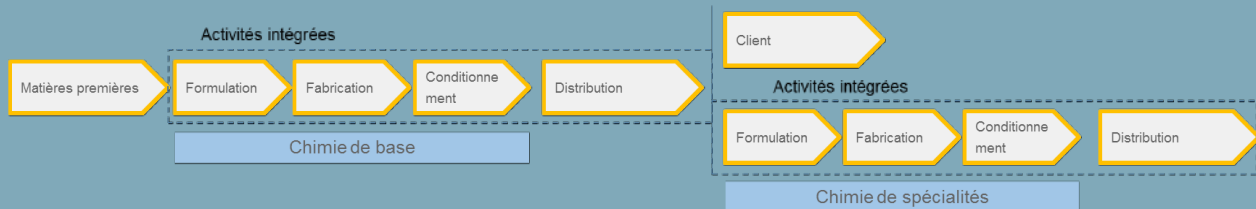
La marketplace devrait avoir une structure juridique indépendante d'un industriel même si elle lui est adossée. Ceci lui permet d'endosser le rôle de tiers de confiance. La position de tiers de confiance se caractérise par la capacité à assurer le paiement de la transaction, un service client fiable, la garantie de qualité et de traçabilité du produit. Si le produit est défectueux ou le service non conforme aux attentes, le tiers de confiance peut indemniser l'acheteur et sanctionner le vendeur. Plus le volume des transactions passant par la marketplace est important et plus la part des transactions passant par la marketplace est importante dans le volume d'affaires d'un industriel, plus le poids de la marketplace est important pour imposer ses conditions en terme de paiement, service client et garanties qualité.

Scenarii potentiels

À titre d'exemple, sur la chaîne de valeur de la chimie, ces phénomènes peuvent conduire à deux types de scénarios représentés ci-dessous.

Sur une chaîne de valeur actuelle, les activités de formulation, fabrication, conditionnement, voire distribution sont relativement bien intégrées chez les industriels.

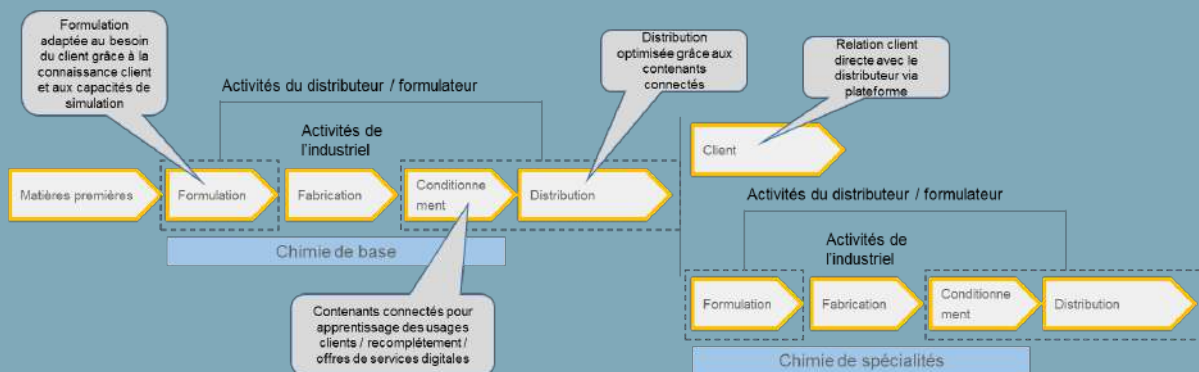
Figure 16 : Chaîne de valeur simplifiée actuelle



Source : Analyse EY

Dans un scénario pessimiste de disruption par la désintermédiation et l'ouverture de nouveaux marchés, les industriels actuels de la chimie pourraient se retrouver dans une situation de simple producteur avec une part essentielle de la valeur captée par un distributeur qui maîtriserait la relation client ainsi que la formulation. Par exemple, AliBaba, en Chine, distribue des produits de la chimie et possède les capacités d'investissement pour remonter la chaîne et traiter la partie formulation, en s'appuyant sur des puissances de calcul offertes par des ordinateurs quantiques.

Figure 17 : Scénario pessimiste d'évolution de la chaîne de valeur (point de vue industriel)



Source : Analyse EY

Biotechnologies blanches

La solution biotechnologies blanches se concentre sur deux cas : la biologie de synthèse et la catalyse biologique/fermentation. La première correspond à l'application combinant biologie et principes d'ingénierie, dans le but de concevoir et construire (« synthétiser ») de nouveaux systèmes et fonctions biologiques, pour la fabrication de molécules chimiques. La seconde correspond à l'amélioration du taux de rendement des réactions grâce à de nouveaux catalyseurs biologiques (enzymes).

L'un des principaux atouts de cette solution est la réalisation de réactions dans des environnements plus doux, température et pression plus faible que pour des réactions chimiques « classiques ». L'utilisation d'enzymes permet également d'obtenir des mélanges racémiques spécifiques dans des proportions non réalisables par des réactions chimiques « classiques ». Par contre, les processus biologiques étant plus longs que les processus chimiques, les essais sont plus longs à réaliser. La mise au point des enzymes à utiliser est faite de manière empirique ce qui nécessite du temps et la réalisation de nombreux essais avant d'aboutir au résultat souhaité. La mise en base de l'ensemble des données des essais de réactions enzymatiques constitue une opportunité à exploiter pour les industriels. Cependant le partage des informations entre industriels pour augmenter la quantité de données et améliorer la qualité des modèles est une menace pouvant limiter les synergies potentielles.

Effets économiques et optimisation des processus économiques

Le meilleur rendement matière et la réduction de la consommation énergétique lors de réactions catalysées par des enzymes par rapport à des réactions chimiques classiques sont des atouts économiques des biotechnologies blanches. Dans l'industrie du papier-carton, les enzymes types amylases, xylanases, cellulases et ligninases hydrolysent l'amidon pour baisser la viscosité du papier et aider à sa découpe et à son surfaçage. Les xylanases réduisent la quantité d'agents chimiques nécessaires au blanchiment, les cellulases lissent les fibres et améliorent le drainage de l'eau et facilitent l'enlèvement de l'encre et les ligninases hydrolysent la lignine pour adoucir le papier.

L'utilisation d'enzymes comme catalyseurs permet de réaliser des gains de consommation énergétique notamment en permettant de gagner jusqu'à 10% de vitesse d'une machine à papier. Comme expliqué précédemment, l'utilisation d'enzymes permet de faciliter le raffinage du papier et d'améliorer les caractéristiques de celui-ci. Les retours d'expérience sur le sujet sont trop peu nombreux et ne permettent pas d'évaluer les gains potentiels.

En ce qui concerne la biologie de synthèse, une centaine d'applications ont franchi le stade de l'industrialisation, en particulier dans le domaine de la pharmacie (médicaments et aides au diagnostic). Les recherches semblent plus axées sur la possibilité de construire de nouvelles solutions, plus que sur la réduction des coûts de production.

La fabrication de la pâte à papier requiert une quantité importante d'énergie et l'utilisation de produits chimiques pétrosourcés afin de séparer les fibres de cellulose et la lignine. Des recherches sont en cours pour repenser ce processus grâce à l'utilisation de solvants eutectiques profonds (DES), une nouvelle classe de solvants naturels, biodégradables et renouvelables. Les DES permettraient de séparer à moindre coût les fibres de cellulose et la lignine et l'hémicellulose qui peuvent être valorisées ; ce type de procédé pourrait aboutir de manière industrielle d'ici 2030.

Effets sur les compétences

D'un point de vue compétences, il y a un manque de double compétences en biologie et en chimie en France. C'est une faiblesse pour le développement de cette solution en France.

Nanocellulose

La solution consiste en l'utilisation de nanostructure de cellulose pour des applications diverses : résistance mécanique, émulsion et dispersion pour peinture, additifs alimentaires, cosmétique...

Par définition, la nanocellulose est à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire qu'au moins une des dimensions des fibres de cellulose est inférieure à 100 nanomètres. Les deux matériaux qui correspondent à cette définition sont la cellulose nanocristalline (cellulose nanocrystals – CNC) et la cellulose nano-fibrillée (cellulose nanofibrils – CNF).

L'atout de cette solution réside dans les propriétés mécaniques, barrières, acoustiques et thermique de la cellulose. C'est un moyen de se substituer à des matériaux issus de la chimie des hydrocarbures et ainsi d'avoir des produits ayant une plus grande recyclabilité. La CNF est cinq fois plus léger que l'acier et cinq fois plus résistant. Actuellement, le professeur Yano Hiroyuki du Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto

University, fait des travaux de recherche pour remplacer le fer par de la CNF dans l'automobile afin de rendre les voitures plus légères et efficaces en consommation d'essence.

Les travaux du Centre Technique du Papier sur la nanocellulose sont des atouts pour la France grâce aux développements menés. Par contre, la synergie entre la recherche académique et l'industrie est une faiblesse pour la France. Le remplacement des produits plastiques par des produits biosourcés est une opportunité pour les industriels du secteur. Dans certains domaines spécifiques tel que la santé, des produits à base de nanocellulose sont des alternatives à des plastiques pétro-sourcés. La France dispose d'une réserve de matière première conséquente puisqu'elle possède le 3^{ème} domaine forestier d'Europe.

Effets économiques et optimisation des processus industriels

Le niveau d'investissement notamment en recherche et développement de cette solution est important et constitue une faiblesse de la solution.

Néanmoins, l'ouverture vers de nouveaux marchés est une opportunité économique pour les industriels du secteur. En détail, l'actuel leadership japonais et canadien dans le développement de cette solution est une menace pour les acteurs français.

Les retours d'expérience sur le sujet sont peu nombreux et ne permettent pas d'évaluer les gains potentiels.

L'atout de compétitivité réside dans l'opportunité de différenciation de l'offre qu'est susceptible de conférer cette solution à l'égard de produits substituables et potentiellement concurrents, plutôt que dans des capacités de rationalisation de l'outil de production lui-même. Il s'agit là d'une différence avec d'autres solutions mentionnées dans le rapport.

Effets sur le management et l'organisation

D'un point de vue organisationnel, la capacité à prendre des décisions stratégiques sur ce sujet est limitée pour la France dans la mesure où il y a une absence de leader français dans le secteur du papier-carton. La plupart des entités françaises du secteur appartiennent à des groupes internationaux. Néanmoins, le choix de ne pas s'engager dans la production de NFC peut être considéré comme une décision stratégique.

Photo 10 : Équipement de production de MicroFibrilles de Cellulose et un film de MFC (à gauche)



Source : Centre Technique du Papier ©

Valorisation des coproduits issus de la production de pâte à papier

Cette solution correspond à la valorisation « matière » des coproduits issus de la production de pâte à papier.

L'atout technologique principal est l'impact environnemental positif de cette solution. La transformation des usines de pâtes à papier en bioraffineries est une opportunité pour les acteurs du secteur faisant face à une baisse d'activité. L'investissement nécessaire à la transformation de son activité étant élevé, cela peut être un frein à sa mise en place.

Effets économiques et optimisation des processus industriels

En plus de l'opportunité énergétique, l'exploitation de coproduits tels que la lignine peut être une opportunité. Acquis par la société Metso en 2008, le procédé LignoBoost est une technologie permettant d'extraire de la lignine de haute qualité de la liqueur noire d'une usine de Kraft. À Plymouth en Caroline du Nord aux États-Unis, Metso a réussi en 2013 le lancement d'une ligne de séparation de la lignine grâce au procédé LignoBoost au sein de son usine de production de pâte à papier. Leur volume cible de production était de 75 tonnes par jour.

La réduction des rejets et une meilleure valorisation de la biomasse permettent de réaliser des gains de natures très différentes dépendant de la nature des installations.

Effets sur le management et l'organisation

Cette solution a notamment pour but d'utiliser les installations industrielles existantes ; en effet, la valorisation des coproduits et de la biomasse bois peut être réalisée en ajoutant des installations sur les sites existants.

Le fonctionnement de plusieurs acteurs en grappe industrielle⁴² ou cluster avec un partage d'assets industriels entre entreprises géographiquement proches représente une opportunité organisationnelle. La mutualisation d'équipements notamment pour la production d'énergie peut être mise à profit pour l'ensemble des entreprises constituant une grappe industrielle. La fourniture d'énergie à d'autres entreprises rencontrées sur une grappe industrielle permet de réduire significativement les dépenses énergétiques voir d'atteindre une autosuffisance.

⁴² Concentration d'entreprises et d'institutions interreliées dans un domaine particulier sur un territoire géographique. Les pôles de compétitivité sont des grappes industrielles.

Synthèse des effets : analyse AFOM⁴³

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des effets analysés précédemment à travers les atouts, faiblesses, opportunités et menaces des solutions.

Tableau 18 : Analyse AFOM des solutions identifiées

Solution	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
1. Analytics industriel	<ul style="list-style-type: none"> - Solution mature - Offreurs de solution existants en France - Amélioration du rendement matière - Réduction consommation énergétique - Gain maintenance - Réduction du taux de panne 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de ressources en interne pour mener ces projets - Manque de compétences en gestion de la donnée - Manque de formation sur le sujet - Disponibilité de la donnée 	<ul style="list-style-type: none"> - Mutualisation des données - Responsabilisation des opérateurs - Utilisation de l'intelligence artificielle pour réguler en temps réel 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépositionnement du management intermédiaire - Résistance au changement - Cybersécurité - Perte de compétences process
2. MES et IIoT	<ul style="list-style-type: none"> - Solution mature - Offreurs de solution existants en France - Gain productivité main-d'œuvre - Amélioration du TRS - Amélioration du rendement matière 	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'automatisation requis élevé - Manque de ressources en interne pour mener ces projets 	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotage automatisé de la production - Aide à la prise de décision 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépositionnement du management intermédiaire - Résistance au changement - Cybersécurité
3. Simulation numérique	<ul style="list-style-type: none"> - Solution mature - Offreurs de solution existants en France - Formalisation du savoir-faire - Implication des opérateurs leur de la conception - Gain de temps lors de la phase de conception - Réduction du nombre d'essai machine - Temps de formation plus faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Non-disponibilité des modèles numériques des installations existantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration de la simulation de procédés au jumeau numérique - Continuité numérique - Expertise déportée et mutualisée - Attractivité de l'industrie par le numérique - Découverte et formations immersives 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement - Acceptabilité des travailleurs - Cybersécurité
4. Automatisation des activités logistiques	<ul style="list-style-type: none"> - Solution mature - Offreurs de solution existants en France - Amélioration de la productivité main-d'œuvre - Ergonomie et sécurité des postes de travail - Réduction du taux de bobines endommagées - Sécurité des installations - Réduction des quantités de réactifs 	<ul style="list-style-type: none"> - Suppression de postes - Manque de flexibilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimisation de la production pour fluidifier l'utilisation des AGV 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement - Acceptabilité des travailleurs - Cybersécurité
5. Intensification des procédés	<ul style="list-style-type: none"> - Actes de maintenance moins conséquents - Réduction des déchets - Gains énergétiques - Amélioration du rendement matière 	<ul style="list-style-type: none"> - Cristallisation dans les canalisations du réacteur - Manque de formation 	<ul style="list-style-type: none"> - Hybridation avec un processus batch - Passage rapide de l'expérimentation à l'industrialisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement

⁴³ AFOM : atouts, faiblesses, opportunités, menaces

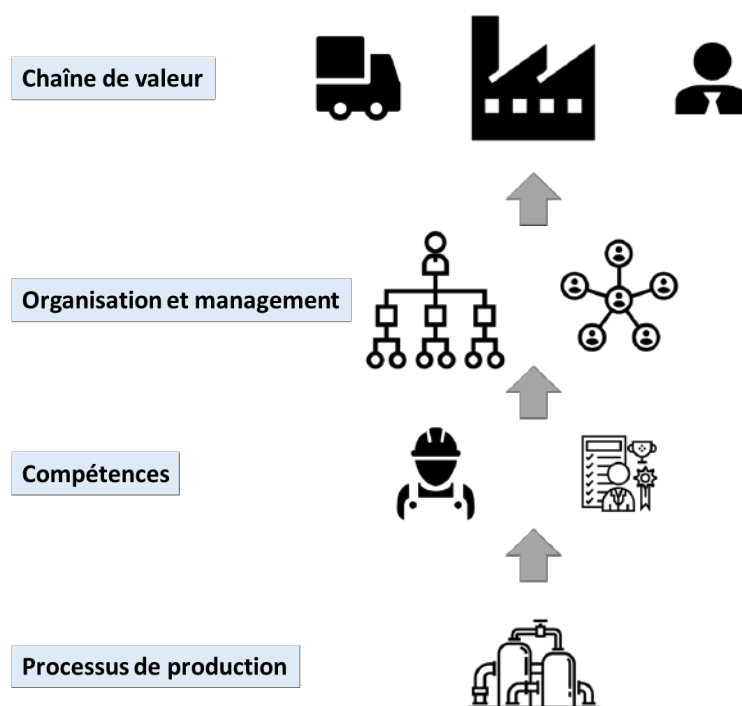
Solution	Atouts	Faiblesses	Opportunités	Menaces
6. Simulation de formulation	<ul style="list-style-type: none"> - Gain de temps de développement - Développement de produits personnalisés - Délai de mise sur le marché réduit - Optimisation d'un portefeuille de produits 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de calcul long - Complexité à évaluer et modéliser les interactions 	<ul style="list-style-type: none"> - Centres de recherche en France - Acteur français du numérique 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement des entreprises (mise en commun d'information)
7. IoT lié au produit	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie mature - Offreurs de solution existants en France - Gestion de la traçabilité - Réduction des dépenses énergétiques - Authenticité des produits stockés - Amélioration de la productivité main-d'œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> - Solutions et cas d'usage peu répandus 	<ul style="list-style-type: none"> - Création de nouveaux services - Renforcement de la relation client 	<ul style="list-style-type: none"> - Collaboration interservices complexe - Cybersécurité
8. Plateforme collaborative	<ul style="list-style-type: none"> - Optimisation du processus d'amélioration continue - Personnalisation de la relation client fournisseur (interne ou externe) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coopération entre les fonctions et métiers d'une ou plusieurs entreprises 	<ul style="list-style-type: none"> - Valorisation des données - Nouveaux services 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement - Transformation des relations sur une chaîne de valeur - Cybersécurité
9. Marketplace	<ul style="list-style-type: none"> - Standardisation ou personnalisation des produits - Segmentation client - Massification des volumes de vente - Sécurisation des échanges financiers - Productivité main-d'œuvre des services clients 	<ul style="list-style-type: none"> - Volume critique de ventes indispensable - Acceptabilité des salariés 	<ul style="list-style-type: none"> - Sélection et protection des acteurs pouvant accéder à la marketplace - Traçabilité des produits - Développement avec l'IoT lié au produit 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement - Cybersécurité - Captation de la valeur par un acteur externe à la chaîne de valeur
10. Biotechnologies blanches	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation de réactions dans des environnements plus doux (T° et P°) - Amélioration du rendement matière - Réduction de la consommation énergétique - Réduction des quantités d'agents chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Essais plus longs à réaliser - Mise en point empirique - Manque de compétences 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en base des enzymes 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance au changement des entreprises (mise en commun d'information)
11. Nanocellulose	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés mécaniques, barrières, acoustiques et thermiques de la nanocellulose - Travaux réalisés par le centre technique du papier 	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'investissement important - Peu ou pas de retour d'expérience sur le sujet 	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement de produits biosourcés par la nanocellulose - Ouverture de nouveaux marchés 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de capacité de prise de décisions en France (peu d'acteurs)
12. Valorisation des coproduits	<ul style="list-style-type: none"> - Impact environnemental positif - Optimisation de la consommation énergétique - Réduction des rejets 	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'investissement important - Peu ou pas de retour d'expérience sur le sujet 	<ul style="list-style-type: none"> - Diversification de l'activité des usines de pâtes à papier - Fonctionnement en grappe industrielle - Mutualisation d'équipements 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de capacité de prise de décisions en France (peu d'acteurs)

Catégorisation et analyse des effets

Méthodologie de catégorisation des effets

L'objet de cette partie est d'analyser et comprendre pourquoi et comment les entreprises industrielles évoluent vers l'Industrie du Futur. Cette évolution est initiée dans un premier temps par une transformation des processus de production. Les solutions retenues dans le cadre de l'étude et plus généralement la plupart des technologies de l'Industrie du Futur impactent la production. En effet, les données générées vont faire évoluer les modes de production. L'analyse de ces données va permettre de repenser les produits lors de la conception, de changer les réglages des équipements pour améliorer la performance de l'outil de production, de revoir les politiques de maintenance en anticipant les pannes et planifiant les arrêts machines pour optimiser la production et enfin faire évoluer les modes de distribution grâce aux informations de consommation des clients qui peuvent même permettre d'ajuster la production pour limiter les stocks. Dans un second temps, ces processus de production étant en pleine mutation, les compétences nécessaires aux opérateurs et techniciens pour pouvoir piloter et réaliser les activités de production évoluent et sont nouvelles pour certaines. L'acquisition de compétences permettant d'analyser et de traiter la donnée captée au niveau de l'outil de production est essentielle pour les industriels. De nouvelles formations sont mises en place par les organismes de formation, publics ou privés, pour accompagner cette transformation. De fait, les opérateurs et techniciens sont responsabilisés et les outils de communication du digital apportent une transversalité entre les différents services de l'entreprise ce qui provoque des mutations organisationnelles et managériales. Ces évolutions au sein de l'entreprise, que ce soit sur les processus de production, les compétences, l'organisation ou le management, ont des effets sur l'environnement externe à l'entreprise, c'est-à-dire sur la chaîne de valeur dans laquelle s'inscrit l'industriel. Enfin, certaines solutions telles que la plateforme collaborative ou la marketplace ont des impacts significatifs sur les business models des entreprises et peuvent provoquer une transformation profonde d'une chaîne de valeur.

Figure 18 : Présentation des niveaux des effets des solutions



Source : Analyse EY

Effets sur les compétences

Défi technologique majeur pour les entreprises, la transition vers l'Industrie du Futur est également un défi humain et organisationnel. Face à la rapidité des changements technologiques et à la diffusion du numérique, le système de formation doit évoluer pour former des personnes ayant les compétences requises pour l'utilisation de ces nouvelles technologies dont celle de s'adapter en permanence. De plus, les besoins en formation évoluent dans le contexte de l'Industrie du Futur avec des objectifs d'internationalisation et de professionnalisation. Afin de maîtriser ces nouvelles technologies, les entreprises cherchent à former leurs techniciens et opérateurs pour les préparer à ces nouveaux environnements numériques.

Deux types de formations peuvent être considérés.

Dans un premier temps, on trouve des formations telles que celle de l'UIMM PACA décrites ci-après portant sur des compétences techniques dites « **hard skills** ». Ces bachelors, diplômes acquis après une année d'étude pour les personnes disposant d'un bac+2 soit l'équivalent d'une licence, forment aux métiers de l'industrie : technicien de maintenance, technicien logistique et technicien de production en apportant une dimension forte autour de la donnée, sa gestion, son analyse, son interprétation et sa mise en application.

Dans un second temps, on trouve des formations de type « **soft skills** » autour de l'apprentissage continu. Elles ne sont pas nécessairement institutionnalisées et l'objectif est de permettre aux personnes travaillant dans l'industrie d'apprendre à apprendre. En effet, les métiers historiques de l'industrie n'ont pas ou peu évolué depuis une quarantaine d'années. Désormais, l'obsolescence de certains métiers peut arriver en quelques années. D'autre part, de nombreux métiers de demain n'existent pas aujourd'hui. Il est donc essentiel de donner aux salariés la capacité à se former et à acquérir de nouvelles compétences quelles qu'elles soient pour pouvoir changer de métier au fur et à mesure des transformations de l'industrie.

À titre d'exemple, de nouvelles formations se développent : le pôle formation de l'UIMM Provence Alpes Côte d'Azur propose par exemple des formations de **bachelors Industrie du Futur**. L'ambition du pôle formation UIMM PACA est d'anticiper les besoins en compétences des entreprises, d'offrir un panel de formations en lien direct avec les exigences de l'usine du futur et être une vitrine de l'entreprise 4.0. Ces bachelors visent à former des salariés, des demandeurs d'emploi, des intérimaires et des étudiants ou apprentis aux métiers de demain de l'Industrie du Futur. Les prérequis sont un bac+2 dans le domaine industriel ou ayant une validation des acquis professionnels pour les non titulaires d'un bac+2. Il s'agit de formation en alternance sur une année en contrat de professionnalisation sur 12 mois. Elles permettent à l'issue de la formation d'accéder à une double certification, un Certificat de Qualification Paritaire de la Métallurgie et un diplôme Bachelor. Ces trois formations visent à donner les compétences nécessaires à l'appropriation des nouvelles technologies digitales de l'Industrie du Futur, donner la capacité à ces futurs techniciens de mettre en place ces solutions notamment grâce à une maîtrise de la donnée dans un souci d'amélioration de la performance de l'entreprise. Ces trois formations portant autour de la gestion et l'exploitation de la donnée abordent également le sujet de la **cybersécurité qui peut être un frein majeur au déploiement des solutions Industrie du Futur**.

Le technicien « big data industriel » positionné entre le responsable de production et le data scientist⁴⁴ a pour objectif d'exploiter les résultats d'analyse des données pour atteindre les objectifs fixés. En effet, l'exploitation de la donnée issue de l'analytics industriel, du MES, de l'IloT ou de la simulation numérique est une source de compétitivité pour les industriels notamment pour l'amélioration produit et l'optimisation des process. Ce type de profil doit pouvoir définir les enjeux et les contraintes techniques d'une solution big data, être capable de choisir les constituants de cette solution, capteurs, base de données et logiciels notamment la mise en œuvre de solution Cloud. Le Cloud computing est un terme général employé pour désigner la livraison de ressources et de services à la demande par internet. Il désigne le stockage et l'accès aux données par l'intermédiaire d'internet plutôt que *via* le disque dur d'un ordinateur. L'image du cloud est utilisée de façon métaphorique pour désigner internet. La comparaison correspond aux représentations des infrastructures de serveurs internet par un grand nuage blanc. Cette technologie permet d'acheter des ressources informatiques sous la forme de service de la même manière que l'on consomme de l'électricité, au lieu d'avoir à construire et entretenir des infrastructures informatiques en interne. De plus, il doit pouvoir sécuriser les données récoltées, être capable de les exploiter et proposer des améliorations de manière continue. Une contextualisation de l'Industrie de Futur constitue la première étape de ce type de formation. La capacité à

⁴⁴ D'après les référentiels de la branche du numérique, de l'ingénierie, des études et du conseil et de l'événement, un data scientist est un expert de la gestion et de l'analyse pointue de données massives (big data). Il détermine à partir de sources de données multiples et dispersées, des indicateurs permettant la mise en place d'une stratégie répondant à une problématique. Il est donc spécialisé en statistique, informatique et connaît parfaitement le secteur ou la fonction d'application des données analysées. Ses activités principales sont d'identifier les besoins et les problématiques des directions métiers, définir une modélisation statistique qui permette de répondre à une problématique, construire les outils d'analyse pour collecter les données de l'entreprise, sourcer et rassembler l'ensemble des sources de données structurées ou non structurées nécessaires à l'analyse et pertinentes, organiser, étudier et synthétiser ces sources de données sous forme de résultats exploitables et enfin de modéliser les comportements et en extraire de nouveaux usages utilisateurs. Il peut également concevoir et entretenir des entrepôts de données (datawarehouse).

construire un modèle économique d'une solution autour de la donnée, l'apprentissage des principes d'acquisition des données, de stockage et d'analyse sont les modules de formations socles pour les techniciens en big data industriel. Enfin, ces formations peuvent être complétées par des modèles de données, le déploiement de solution Cloud et la sécurisation des données.

Le technicien e-maintenance est le second bachelor du futur. Positionné entre le responsable maintenance et le responsable de production, il s'inscrit dans une démarche de mise en place de nouvelles organisations plus horizontales et plus efficaces, de nouvelles stratégies de maintenance (préventive, prédictive) et de nouveaux outils (réalité augmentée, pilotage d'internet des objets). En effet, l'automatisation des processus techniques est de plus en plus grande notamment dans les secteurs de la chimie et du papier-carton qui sont fortement outillés. L'évolution vers une meilleure qualité des produits, l'arrivée de nouvelles technologies amènent les services de maintenance à avoir une position centrale dans l'entreprise de production. La capacité des équipes de maintenance à garantir un outil de production performant permettant de répondre le plus rapidement possible aux besoins clients est essentielle pour garder ses clients. Comme pour le technicien big data industriel, le technicien e-maintenance doit pouvoir définir les enjeux et les contraintes techniques de la maintenance en analysant les indicateurs liés à une production robotisée et connectée. L'objectif principal de ce type de poste est le pilotage de projet d'optimisation de la maintenance, qu'elle soit préventive ou prédictive⁴⁵. De plus, il doit pouvoir mettre en œuvre de nouveaux outils de maintenance tels que de la documentation interactive, de la réalité augmentée ou de l'impression additive. Enfin, il a également un rôle de management d'une équipe de maintenance. Les modules de formation pour ce type de profil sont différents du technicien big data industriel même s'ils disposent d'une base commune, la contextualisation et la collecte et l'analyse de donnée constitue cette base commune. Plus spécifiquement, le technicien e-maintenance est formé à conduire et diagnostiquer une ligne de production, mettre en place des stratégies d'optimisation de la maintenance et manager des équipes. Enfin, il est formé à intégrer et mettre en œuvre de nouvelles technologies tels que les cobots (robots collaboratifs) et des AGV (Automated Guided Vehicles).

Le dernier bachelor Industrie du Futur est le technicien chaîne logistique. Positionné entre le responsable supply chain et le responsable production, il a pour mission de piloter et manager les flux (matières, monétaires et opérationnels) pour améliorer la performance de l'entreprise grâce aux nouvelles technologies. Pour répondre à la demande client, les industriels doivent synchroniser les flux internes et externes. Cela passe par des mutations organisationnelles en repensant sa chaîne logistique du producteur de matières premières au client final. Par exemple, dans l'aéronautique, Airbus Helicopters fait porter ses stocks par ses fournisseurs à qui Airbus donne accès à ses ordres de fabrication de manière à pouvoir anticiper et s'adapter aux besoins d'Airbus. Comme pour le technicien big data industriel et le technicien e-maintenance, il a pour objectifs de définir les enjeux et les contraintes techniques de la chaîne logistique en analysant la performance de sa chaîne logistique, c'est-à-dire la capacité à répondre aux besoins clients compte tenu de l'état de son environnement (fournisseurs, outil de production, moyens logistiques...). Il s'agit principalement de la disponibilité des équipements, les niveaux de stocks attendus, la maîtrise des goulots sur sa chaîne logistique et sa capacité de production compte tenu d'une situation donnée. Le technicien chaîne logistique doit choisir et mettre en œuvre les technologies numériques de la chaîne logistique (ERP, planification, gestion des opérations logistiques, mise en œuvre des objets connectés). Enfin il cherche à optimiser les performances globales de la chaîne logistiques dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue tout en managant une équipe. Concernant sa formation, il doit disposer d'une base sur le contexte de l'Industrie du Futur, complétée par des modules de formation sur le pilotage des flux dans l'entreprises, la démarche d'amélioration continue, le Lean management⁴⁶, la mise en place d'actions d'amélioration et le management d'équipe.

Sur la base des exemples mentionnés ici et des tendances de l'Industrie du Futur, **il existe un besoin à court terme de nouvelles formations autour du traitement de l'information** : traitement de la donnée et algorithmique analytics, outils de simulation, architecture SI combinant SI industriel et SI de gestion. Ces formations devraient faire partie du tronc commun des formations d'ingénieurs et être accessibles en formation continue afin de former les spécialistes capables d'intégrer les nouvelles technologies fondées sur le traitement de la donnée (analytics, MES, IIoT, simulations). L'objectif étant de pouvoir se doter de compétences process et numériques à la fois. Avec le déploiement d'outils analytics, il est important que des ingénieurs process se dotent de compétences en structuration de la donnée, nettoyage et traitement.

⁴⁵ D'après les référentiels de la branche du numérique, de l'ingénierie, des études et du conseil et de l'événement, le technicien/ingénieur exploitation maintenance a pour compétences cœur de métier les connaissances spécifiques au domaine de l'ingénierie, l'assistance à maîtrise d'ouvrage en cadrage projet, la gestion des risques, la gestion de la qualité, de l'hygiène, de la santé, de la sécurité et de l'environnement, la mise en exploitation, la production et la maintenance, la gestion budgétaire et financière et économique, la gestion réglementaire et contractuelle, la veille, l'analyse et la gestion documentaire, la maîtrise des logiciels de bureautique de gestion et des logiciels spécifiques à son domaine technique et en fin l'anglais.

⁴⁶ Le Lean management du terme anglais lean (maigre) sert à qualifier une méthode de gestion de la production qui se concentre sur la gestion sans gaspillage (muda en japonais) Il y a 7 muda : la surproduction, l'attente, le transport, les étapes inutiles, les stocks, les mouvements inutiles et les corrections ou retouches.

Concernant **l'intensification des procédés**, malgré une technologie mature et des offreurs de solutions existants, les compétences nécessaires à l'appropriation et à la mise en place de méso-réacteurs ne font pas partie du tronc commun des ingénieurs en école de chimie.

Plusieurs formations existent en France, portées par des universités ou écoles, sous des formats de 2 à 3 jours afin de familiariser des ingénieurs ou techniciens procédés chimie aux principes de **l'intensification des procédés**. Ceci permet de pré-identifier des cas d'applications. En revanche, pour l'implémentation, il est nécessaire de recourir à des ingénieurs formés sur ces technologies et travaillant en lien étroit avec le fabricant de matériel. Pour les trois dernières solutions identifiées, les **biotechnologies blanches, la nanocellulose et la valorisation des coproduits** issus de la fabrication de pâte à papier, Grenoble INP – Pagora en partenariat avec Grenoble INP – Phelma propose un parcours « Bioraffinerie et Biomatériaux » dans le cadre du Master Science et Génie des Matériaux pour la rentrée 2018. Cette formation est destinée aux étudiants s'intéressant aux métiers de valorisation de la biomasse végétale en produits chimique, énergie et biomatériaux. En effet, la transformation de la biomasse végétale en énergie, produits chimiques et polymère est une composante importante de l'économie verte. De nouvelles compétences sont nécessaires pour le développement de cette transformation. Ce parcours couvre l'ensemble de la filière, de l'approvisionnement en biomasse lignocellulosique, principalement le bois jusqu'à la production de produits chimiques, biocarburants, etc... D'autres universités et écoles d'ingénieurs françaises mettent en place ce type de formation. Le site formations-biotech.org recense les formations en biotechnologies.

Cas école 14 : École d'ingénieurs en Chimie et Sciences du Numérique (CPE – Lyon)

L'école a deux secteurs de formation, la chimie et les procédés et les sciences du numérique. L'école délivre deux diplômes d'ingénieur, un diplôme en chimie – génie des procédés et un diplôme d'ingénieur en sciences du numérique. Elle propose également un mastère spécialisé « Bioprocédés » et un diplôme d'ingénieur en Informatique et Réseaux en alternance.

Un module « numérique pour la chimie » a été intégré pour la première année au cursus chimie et procédés. Ce module vise à répondre à un besoin en compétences sur le numérique chez les chimistes. Les acheteurs des industriels de la chimie peuvent être en relation avec des entreprises du numérique pour l'achat de solution digitale. Ces compétences leur permettent de mieux appréhender les solutions numériques et d'éviter l'effet boîte noire de ces outils.

Le mastère spécialisé « Bioprocédés » ou « Génie des procédés biotechnologiques » est co-organisé par CPE Lyon et l'ENSIC Nancy. L'école a renforcé l'équipe enseignante par des biologistes pour assurer les cours dans ce domaine. Historiquement, la biologie était plutôt enseignée à l'université et les procédés en école, l'objectif ici est de rapprocher les deux, ce qui est le cas pour CPE avec l'université Claude Bernard Lyon 1.

La création d'un laboratoire de bioproduction, BioFactory, a permis de renforcer le développement de CPE Lyon dans les biotechnologies. Ce laboratoire est conçu en interaction avec des partenaires industriels. L'objectif de BioFactory est de reconstituer à l'échelle du laboratoire une chaîne de bioproduction qui servira de support pour de la formation (initiale et continue) et pour le développement d'une offre de services pour des projets de RDI.

Concernant l'intensification des procédés, CPE l'intègre dans le tronc commun de sa formation et propose une majeure en dernière année d'école sur le sujet. De manière plus générale, l'école donne à ses étudiants les compétences dans le domaine de la chimie, comprendre les molécules, et le domaine de procédés, comprendre comment les fabriquer.

Enfin dans le domaine de la **cybersécurité**, il existe une pénurie de professionnels, en particulier dans les environnements de production.

Selon l'ANSSI (Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information), seuls 1200 des 6000 postes ouverts en 2016 dans le domaine de la cybersécurité auraient été pourvus.

La difficulté provient du type de parcours de formation : une formation pointue en sécurité informatique ne peut être entamée avant quatre années d'études supérieures puisqu'elle implique de maîtriser déjà plusieurs langages de programmation, de s'y connaître en architecture web, en technologies des réseaux, en systèmes d'exploitation (Linux, Windows, Android, MacOS, OPC), ainsi qu'en virtualisation, en Big data, Cloud, et en informatique industrielle.

L'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information), avec un groupe de travail composé de représentants de l'enseignement supérieur et du monde industriel, a proposé de structurer les métiers de la cybersécurité autour de 16 profils : Expert en gestion de crise, Juriste spécialisé, Architecte sécurité, Administrateur sécurité,...

Un nombre limité d'écoles forment à ces métiers et sont labellisées par l'ANSSI.

Effets sur le management et l'organisation

Les entreprises évoluent dans un environnement en constante mutation et cherchent en permanence à monter en gamme, à être plus flexibles, plus efficaces et à réaliser une production personnalisée.

L'un des principes clés de l'usine de futur réside dans sa capacité à répondre à une demande de ses clients de plus en plus exigeante que ce soit en termes de variété, de qualité et de réactivité. Pour répondre à cette exigence, les industriels doivent être plus **agiles**⁴⁷ grâce à une **flexibilité de leur outil de production**. Les nouveaux outils de communication amènent plus de transversalité entre les salariés au sein de l'entreprise et entre les différents services. Les organisations deviennent responsabilisantes. Combinant le Lean et l'autonomie, les organisations doivent faire émerger de nouvelles méthodes de travail plus collaboratives, plus participatives et notamment accorder plus de responsabilité aux salariés et de développer leur implication. Au fur et à mesure que les salariés ont accès à de la donnée, il leur est demandé d'être plus autonome et plus polyvalent ce qui remet en cause un modèle hiérarchique vertical. La fonction de manager voit ainsi son rôle évoluer, il ne sert plus à relayer des informations montantes et des décisions descendantes mais plutôt à soutenir les équipes lors de prises de décisions. Ainsi, il est plus difficile pour les managers de gérer les individualités lors de travail en équipe, c'est pour cela qu'il a un rôle de régulation. Pour cela il doit accorder de la flexibilité tout en assurant sa légitimité auprès des équipes. Il est important de bien accompagner ce type de transformation organisationnelle car elles peuvent provoquer la perte de repères et une montée de risques psychosociaux au sein de la chaîne managériale.

De nouvelles compétences vont être nécessaires dans le déploiement des solutions Industrie du Futur : sur la data science, sur la maintenance prévisionnelle, sur l'intégration des nouvelles technologies autour de la donnée. **Il convient de s'interroger sur le choix organisationnel et le dimensionnement de ces nouvelles expertises** entre intégration au sein de chaque unité de production, centralisation au sein d'un groupe industriel ou mutualisation de compétences entre plusieurs acteurs, ou encore externalisation.

Les choix d'organisation pour héberger ces compétences dépendent de la taille de l'entreprise, des choix stratégiques ou encore du niveau d'historique de données accessible. Air Liquide, par exemple, a consolidé plusieurs entités existantes au sein d'une filiale, Alizent, qui fournit les solutions Industrie du Futur pour le groupe – mais aussi pour tout industriel. Pour des PME, l'option de la mutualisation de compétences est envisageable ou le recours à l'externe – mais avec une difficulté dans l'identification des solutions adaptées et leur intégration.

Plusieurs groupes industriels ont commencé à traiter le positionnement des nouveaux métiers et leur coordination. En effet, plusieurs types de questions se posent :

- Comment donner l'impulsion sur l'adoption des nouvelles solutions technologiques ?
- Comment arbitrer entre le développement des solutions orientées internes/externes ?
- Comment assurer la coordination entre les activités d'informatique industrielle et les activités d'informatique de gestion alors que ces deux domaines deviennent de plus en plus liés ?
- Où positionner les data scientists dans l'organisation ?
- Comment gérer les contraintes de cyber sécurité, de standards informatiques ?
- La R & D métier a-t-elle toujours l'apanage de l'innovation par rapport à des solutions de plus en plus numériques ?

Face à ces questions plusieurs types de solutions ont pu ainsi être mises en place :

L'impulsion est souvent donnée par un Responsable Industrie 4.0 ou CDO (Chief Digital Officer) pour les solutions digitales. Le rattachement de cette fonction est souvent niveau COMEX/CODIR de l'entreprise. Son rôle va se jouer schématiquement en deux temps : on observe souvent une phase de foisonnement des initiatives laissées aux différents services de l'entreprise avec un contrôle léger puis, après une étape de Retour d'Expérience, une phase plus cadrante de manière à flécher les investissements sur les sujets avec le meilleur retour sur investissement ou satisfaisant le mieux à la stratégie de l'entreprise.

La question de la coordination des projets reposant notamment sur le numérique peut être traitée via l'organisation. Si le prisme choisi par l'entreprise est orienté vers les gains de productivité, on peut observer des directions de la performance regroupant les activités liées à l'amélioration de la productivité, aux méthodes et regroupant informatique industrielle et informatique de gestion. D'autres organisations ont choisi de se doter de comités de coordination. Ils ont pour but de définir une feuille de route entre plusieurs acteurs de l'entreprise et de piloter celle-ci.

⁴⁷ Une méthode Agile est une approche itérative et collaborative, capable de prendre en compte les besoins initiaux du client et ceux liés aux évolutions. La méthode Agile se base sur un cycle de développement qui porte le client au centre. Il est impliqué pendant toute la réalisation du projet. Cette méthode vise à accélérer le développement d'un projet (initialement un logiciel).

L'innovation et en particulier l'innovation digitale peut être catalysée via un Lab. La vocation d'un Lab est d'explorer de nouveaux besoins et de nouvelles solutions. Air Liquide a ainsi créé le i-Lab qui est hébergé au sein de l'organisation Innovation et Développement. Les équipes Transformation Numérique font aussi partie intégrante de cette organisation au sein d'Air Liquide.

Le niveau de besoin en data scientists peut être appréhendé après des premiers projets menés avec des entreprises spécialisées dans le domaine, la France étant bien dotée en *start-up* ayant développé des solutions de big data industriel. Nous observons deux types de tendances : à la fois des équipes en nombre limité de data scientists au sein des structures R & D ou Direction Technique et travaillant en tandem avec des ingénieurs process pour définir des algorithmes d'optimisation de la production et des ingénieurs process se formant aux techniques de data science afin de réaliser des analyses de premier niveau sur de l'optimisation de process ou de l'amélioration qualité.

Exemple du Campus Numérique de Lyon

Le Campus mêle formation initiale et continue, cluster, pôles de compétitivité et acteurs de la transformation digitale. Il a été conçu pour faciliter le décroisement et les échanges entre l'entreprise et la formation. Son objectif est double : l'emploi et la croissance économique.

Le Campus Région accueille 4 acteurs du numérique, pour créer des synergies et favoriser la transformation digitale des entreprises. Digital League, Entreprises et Numérique, Imaginove et Minalogic accompagnent des entreprises de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Le campus va ouvrir en 2020, sur la zone de Charbonnières, un nouveau lieu de 50 000 m² dont une partie dédiée à l'Industrie du Futur. Ce lieu devrait abriter une ou plusieurs plateformes physiques sur la base de mini usines ; ces plateformes serviront de démonstrateurs pour les nouvelles technologies. Les publics visés sont aussi bien les dirigeants que les techniciens et ingénieurs pour s'adapter aux nouvelles solutions.

Effets sur la chaîne de valeur

Quatre types d'effets sur la chaîne de valeur sont constatés.

- Le premier a un impact relativement faible puisqu'il porte sur **l'optimisation de l'outil de production** : solutions de traitement et d'analyse de la donnée permettant l'amélioration de la performance industrielle de l'entreprise par exemple.
- Le second type d'effet porte sur **la désintermédiation des acteurs** de la filière par des solutions telles que la marketplace. Cette désintermédiation peut être portée par un acteur de la filière ou un acteur externe et peut embarquer des activités plus ou moins stratégiques – dont la relation client ; ce qui peut nuire à la marge des industriels
- Le troisième correspond à **l'ouverture de nouveaux marchés** apportés par des solutions en disruption avec les business models existant notamment à travers des offres de produits ou de services différenciantes du marché standard.
- Enfin, le dernier type d'effets sur la chaîne de valeur porte sur **les écosystèmes au sein de la chaîne de valeur** notamment par des regroupements géographiques ou de la mutualisation de la donnée. Par écosystème, nous entendons ici les acteurs du secteur, les offreurs de solutions, mais aussi des acteurs économiques d'un marché donné et leurs interactions organisées (cf. réflexion sur les écosystèmes ci-après).

D'un point de vue nouveaux marchés, les solutions biotechnologies blanches, nanocellulose et valorisation des coproduits issus de la production de pâte à papier ouvrent de nouveaux marchés avec des applications se faisant en substitution de produits issus de la chimie traditionnelle. L'utilisation industrielle d'enzymes comme catalyseur biologique dans la chimie n'est pas récente mais n'est pas encore répandue dans l'industrie chimique. Cette solution trouve également des applications dans les secteurs pharmaceutiques et des cosmétiques. Ainsi, le potentiel pour de nouveaux acteurs intermédiaires s'insérant entre les producteurs d'enzymes et les industriels est important. Ces acteurs, comme Celodev en France dans le domaine du papier, définissent quelle enzyme convient pour quelle application, de manière expérimentale ou en analysant des bases de données. La mise au point de cette solution s'étendra de plus en plus grâce aux données de réactions collectées. Pour la nanocellulose ou plus généralement l'exploitation de biomasse cellulosique en substitut de matière pétrosourcée, le potentiel d'un nouveau marché biosourcé que ce soit pour les biocarburants ou les emballages biosourcés est presque aussi important que le marché actuel de produits pétrosourcés. Enfin la valorisation des coproduits issus de la fabrication de pâte à papier offre de nombreuses perspectives parfois déjà explorées mais souvent avec

d'importantes perspectives. Les domaines d'applications sont nombreux notamment la construction et la production d'énergie. Il s'agit là de nouveaux acteurs potentiels se développant sur de nouvelles solutions.

Mais un industriel peut développer des services additionnels autour de ses produits. C'est par exemple le cas avec Socomore, PME bretonne, spécialisée dans les produits de préparation et de traitement de surface destinés à l'aéronautique et qui a développé une solution permettant de valider la bonne application de ses produits par inspection de drones.

En matière d'emploi, les gains de productivité réalisés suite à la mise en œuvre de nouvelles solutions pourraient ainsi être utilisés pour développer de nouveaux services.

Pour ce type d'effets, les solutions telles que les plateformes collaboratives externes ayant notamment pour objectifs de favoriser l'innovation transforment les modes de relation avec les clients et les fournisseurs. Elles permettent d'acquérir une meilleure connaissance des besoins de ses clients pour pouvoir standardiser les produits ou les personnaliser en fonction des spécificités du client. De plus, certains acteurs proposent des plateformes de partage d'expérience grâce à la création d'une communauté d'utilisateurs et de partage de données de fonctionnement des équipements qui agrègent l'ensemble des données remontées par plusieurs industriels pour fournir des services d'optimisation du fonctionnement des machines. Plus les données exploitées sont nombreuses plus les modèles informatiques sont précis et permettent d'adapter sa politique de maintenance par exemple.

Réflexion sur les écosystèmes

EY, dans un point de vue (The Chemical Industry reimagined – vision 2025 ; juillet 2018) met en avant, de manière prospective, de nouvelles tendances dans la réorganisation de la chaîne de valeur dans le secteur de la chimie.

Le numérique de manière générale et l'Industrie du Futur plus précisément transforment les chaînes de valeur et font apparaître de nouveaux écosystèmes et de nouveaux *business models*. L'industrie de la chimie et du papier-carton ne font pas exception à la règle.

Parmi les transformations importantes possibles pour les entreprises au sein de la chaîne de valeur⁴⁸, on peut imaginer l'apparition de trois catégories d'entreprises au sein du secteur : *foundation businesses*, *ecosystems businesses* et *platform businesses*⁴⁹.

La plupart des producteurs industriels du secteur de la chimie constitueront les « *foundation businesses* » ou entreprises socles asservies à de nombreux écosystèmes, de la même manière que les opérateurs télécoms qui fournissent les infrastructures de base d'un monde hyper connecté, pendant que les géants de la Tech comme les GAFAM⁵⁰ récoltent la plus grande part des profits réalisés. Basées sur les fondations des producteurs industriels de la chimie, de nombreuses entreprises dites « *ecosystems businesses* » vont fonctionner au sein d'écosystèmes tels que la santé, la grande distribution, agroalimentaire, etc... Ces écosystèmes ont pour but de satisfaire un client final dans un domaine donné : la santé, la mobilité, l'habitation... Enfin, ces deux types d'entreprises seront interconnectées par des entreprises « plateformes » qui ont vocation à être indépendantes et dignes de confiance entre les acteurs concernés.

⁴⁸ Source : « L'industrie chimique réinventée – vision 2025 » Etude EY

⁴⁹ Les entreprises « socles », les entreprises intégrées à un écosystème et les entreprises plateforme.

⁵⁰ GAFAM est l'acronyme des géants du Web, Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft qui sont les cinq grandes firmes américaines (nées dans les dernières années du XX^e siècle ou au début du XXI^e siècle, sauf Microsoft créé en 1975 et Apple en 1976) qui dominent le marché du numérique.

Ce qu'il faut retenir

L'analyse des effets liés au déploiement des solutions identifiées a porté sur les effets techniques, économiques, organisationnels et les compétences. Cette analyse a permis de mettre en avant les atouts, faiblesses, opportunités et menaces propres à chaque solution.

Certains effets peuvent être synthétisés en regroupant certaines solutions. Les solutions dites des briques de bases sont constituées de l'analytics industriel, le MES, l'IIoT, la simulation numérique et l'automatisation des activités logistiques. Les solutions autour de la relation client et des nouvelles offres sont composées des plateformes collaboratives, des marketplaces, de l'IoT lié au produit et de la simulation de formulation. Enfin les solutions autour des nouveaux procédés comprennent l'intensification des procédés, les biotechnologies blanches, la nanocellulose et la valorisation des coproduits. Par contre, il est nécessaire de considérer d'autres effets de manière transverse notamment ceux portant sur les compétences, l'organisation et le management et la chaîne de valeur.

Briques de bases

Les solutions dites briques de bases, **l'analytics industriel, le MES, l'IIoT, la simulation numérique et l'automatisation des activités logistiques**, sont des solutions matures avec des écosystèmes d'offres de solutions existants en France. Elles répondent aux enjeux liés à la performance industrielle tels que la maîtrise des procédés, la maintenance et la productivité main-d'œuvre. Elles permettent d'améliorer le rendement matière, le TRS, de réaliser des gains de productivité main-d'œuvre, de réduire la consommation énergétique, de réduire les taux de pannes. Elles ont un impact également sur la formation et la formalisation du savoir-faire qu'elles permettent d'accélérer. La difficulté à mobiliser des équipes compétentes pour le déploiement de ce type de solution est à prendre en compte dans ce type de projet (compétences mixant expertises métiers, digitales et informatique industrielle, cybersécurité).

Relation client

L'analyse des effets liés au déploiement des solutions industries du futur a permis de constater que les solutions telles que la **plateforme collaborative**, la **marketplace** ou **l'IoT lié au produit** peuvent potentiellement transformer une chaîne de valeur notamment par la constitution d'écosystèmes au sein d'un secteur. Elles doivent permettre aux industriels impliqués de favoriser les échanges entre les acteurs, d'améliorer leur offre grâce à une meilleure connaissance de leurs clients et potentiellement d'augmenter leur part de marché. Les marketplaces, en particulier, peuvent aussi devenir une menace en récupérant de la valeur. Pour bénéficier de ces transformations sectorielles à venir, les industriels ont besoin d'engager une réflexion afin d'identifier et de constituer des écosystèmes pertinents et de se doter de plateformes telles que des marketplaces.

La **simulation de formulation** permet un gain important de temps de développement et permet d'adapter au mieux une formulation par rapport à un besoin client. Ce domaine est en cours de développement parmi les grands groupes industriels de la chimie allemande. Ce type de simulation peut nécessiter le recours à des ordinateurs quantiques de grande puissance avec des investissements en millions d'euros. Cette technologie est actuellement inaccessible à la plupart des entreprises françaises de la chimie. Une mutualisation d'investissement avec accès à de la puissance de calcul et de l'aide à l'utilisation logicielle permettrait cet accès et éviterait à la France d'être distancée sur cette technologie. Ce type de mutualisation existe déjà pour des applications dans le nucléaire et la défense avec le CCRT (Centre de Calcul Recherche et Technologie du CEA) en mettant à disposition de ses membres industriels de la puissance de calcul et les ressources pouvant opérer.

Nouveaux procédés

Dans le domaine de **l'intensification des procédés**, les méso-réacteurs sont plus économes en ressources que les réactions classiques en batch et l'utilisation de biomasse sur des procédés intensifs se développe. Leur faible encombrement, leur capacité à réduire les risques industriels et leur besoin en CAPEX plus faible que les installations classiques en font un facteur potentiel de réindustrialisation des territoires. Le niveau d'adoption de cette solution reste limité en grande partie aux laboratoires en France avec peu d'applications industrielles ; cela est en partie lié à une connaissance limitée de cette solution. Sur cette technologie, la France risque un retard technologique par rapport à la Chine, l'Allemagne et le Japon.

Le tissu industriel français est reconnu dans le domaine de la **chimie verte**. Il est établi et dispose d'un fort potentiel de développement en raison de l'excellence des savoir-faire français dans le domaine. De plus, la France dispose d'un atout majeur dans le domaine des matières premières végétales (cultures et forêts). Les aspirations sociétales et la prise de conscience des problématiques environnementales vont pousser à l'utilisation croissante de produits éco-conçus et renouvelables. La prise de conscience d'une vision plus globale du traitement de la

biomasse existe, à l'instar de la mission lancée sur la Bio Économie non Alimentaire entre les CSF chimie et bois. Le potentiel lié à la biomasse bois est en grande partie inexploité au contraire de pays nordiques comme la Finlande qui ont investi lourdement dans la bioraffinerie. Le potentiel d'utilisation de la catalyse enzymatique est encore largement non exploité et est facteur de réduction de coûts d'énergie ainsi que qu'une réduction des déchets, tous deux positifs pour l'environnement.

Enfin, **la nanocellulose** est un nouveau marché dont la croissance prévue est supérieure à 30% par an d'ici 2021 avec des applications multi sectorielles. Peu de pays ont commencé à développer l'industrialisation de cette nouvelle matière (Finlande, Suède, Norvège, Canada, Japon). Des compétences reconnues existent en France sur la nanocellulose, en particulier au sein du Centre Technique du Papier. Il est encore temps de se positionner sur ce marché qui peut offrir un rebond à la filière papetière française, à l'instar des décisions stratégiques prises par les principaux groupes japonais du secteur papetier. En revanche, la France ne dispose plus de grands groupes papetiers potentiellement capables d'investir dans cette technologie ; les sites français appartenant à de grands groupes ont leurs centres de décision à l'étranger. Il convient de rendre attractif la France pour accueillir une première unité de production de nanocellulose. Le procédé étant actuellement énergivore, le coût de l'énergie en France peut être l'un de ces facteurs d'attractivité.

Effets sur les compétences

Le développement des solutions identifiées nécessite principalement quatre grands domaines de compétences :

- **La gestion de la donnée et la cyber sécurité** : L'analyse des conditions de développement pour la mise en œuvre des solutions Industrie du Futur a permis de mettre en avant la nécessité pour les industriels de disposer de salariés ayant des compétences dans la gestion de la donnée. Au-delà de l'appropriation de cette compétence, il est nécessaire de la contextualiser en fonction des domaines d'intervention du salarié au sein de l'entreprise. Par exemple, les domaines de la maintenance, de l'ingénierie process ou de la logistique sont spécialement concernés. L'ensemble des technologies Industrie du Futur telles que l'analytique industrielle, l'internet des objets, la réalité augmentée, la maquette numérique ou le jumeau numérique, génèrent une quantité de données importantes (big data) que les spécialistes métiers doivent pouvoir analyser pour aider à la prise de décisions et agir en conséquence. La méconnaissance des solutions et le manque de formations adéquates sur les sujets d'Industrie du Futur nécessitent de former les salariés des entreprises des deux secteurs. Ces formations ont vocation à doter les industriels de personnes capables de mener des projets sur le sujet grâce à une connaissance des technologies. Enfin, l'ouverture des systèmes d'informations sur l'extérieur des usines nécessite le développement des compétences en cyber sécurité, en particulier dans le domaine de l'informatique industrielle.
- **La biochimie** : la biologie est de plus en plus utilisée au sein de l'industrie chimique. Elle permet d'obtenir des rendements supérieurs à des réactions chimiques pures et de réaliser ces réactions dans des environnements plus économes énergétiquement. Cependant, les personnes disposant de compétences dans les deux domaines, chimie et biologie, manquent au sein de l'industrie. Le développement de cursus proposant cette double formation est nécessaire afin de pallier cette lacune.
- **L'intensification des procédés** : Malgré une technologie mature et des offreurs de solutions existants, les compétences nécessaires à l'appropriation et à la mise en place de méso-réacteurs ne font pas partie du tronc commun des ingénieurs en école de chimie.
- **Le développement de plateformes collaboratives** : L'absence de compétences propres au développement de marketplaces au sein des entreprises des deux secteurs et les questions stratégiques d'alliance constituent les principaux freins de cette solution. Il est nécessaire d'atteindre une taille critique pour peser sur le marché et devenir une plateforme de référence pour un écosystème donné. Il y a une prime aux premiers arrivés et il n'existe actuellement pas de marketplace leader dans la chimie.

Effets sur l'organisation et le management

Les entreprises évoluent dans un environnement en constante mutation et cherchent en permanence à monter en gamme, à être plus flexibles, plus efficaces et à réaliser une production personnalisée. Les besoins en nouvelles compétences nécessaires au déploiement des solutions Industrie du Futur posent la question de l'intégration de ces nouvelles compétences au sein de l'organisation d'une entreprise.

L'impulsion est souvent donnée par un Responsable Industrie 4.0 ou CDO (Chief Digital Officer) pour les solutions digitales. La question de la coordination des projets reposant notamment sur le numérique peut être traitée *via* l'organisation. L'innovation et en particulier l'innovation digitale peut être catalysée *via* un Lab.

Effets sur la chaîne de valeur

Quatre types d'effets sur la chaîne de valeur sont constatés.

- Le premier a un impact relativement faible puisqu'il porte sur l'optimisation de l'outil de production : solutions de traitement et d'analyse de la donnée permettant l'amélioration de la performance industrielle de l'entreprise par exemple.
- Le second type d'effet porte sur la désintermédiation des acteurs de la filière par des solutions telles que la marketplace.
- Le troisième correspond à l'ouverture de nouveaux marchés apportés par des solutions en disruption avec les business models existant notamment à travers des offres de produits ou de services différenciantes du marché standard.
- Enfin, le dernier type d'effets sur la chaîne de valeur porte sur les écosystèmes au sein de la chaîne de valeur notamment par des regroupements géographiques ou de la mutualisation de la donnée.

CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT DES SOLUTIONS ENVISAGÉES AU SEIN DES SECTEURS CONSIDÉRÉS

L'objectif de ce volet est d'identifier les conditions de développement des solutions identifiées dans le cadre du volet 1 au sein des secteurs considérés. La méthodologie d'analyse impliquée est également présentée dans le paragraphe qui suit.

Conditions de développement par solution opérationnelle

Méthodologie d'analyse des conditions de développement

Afin d'identifier les conditions de développement des solutions identifiées, il est nécessaire d'analyser les freins et les leviers liés à la mise en place des solutions. Ces conditions, freins ou leviers, peuvent être de plusieurs natures. Huit domaines de conditions de développement ont été déterminés afin de couvrir l'ensemble des domaines auxquels un industriel peut faire face.

Les domaines internes à l'entreprise permettent d'analyser sa compatibilité avec les solutions de l'Industrie du Futur et ainsi d'évaluer les efforts à fournir pour être en capacité à mettre en place ces solutions. On trouve dans ces domaines, la technique, l'organisation, les ressources humaines et les compétences et le domaine économique et financier.

D'autre part, les domaines dits externes à l'entreprise jouent également dans l'appropriation des solutions par les industriels. L'environnement externe est-il propice à l'adoption des solutions par les entreprises ? Il peut s'agir des écosystèmes, de la réglementation et du transfert technologique entre la recherche et l'industrie.

Enfin, le benchmark international a permis de mettre avant les écarts d'appréciation sur l'Industrie du Futur entre les pays étudiés. La connaissance, la culture et les croyances sont également des domaines à prendre en compte lors de la mise en place de solutions Industrie du Futur.

Huit domaines ont été identifiés à partir des premiers résultats de l'étude :

Tableau 19 : Présentation des domaines de conditions de développement

Domaine de conditions de développement

Le premier est de l'ordre **technique**, plus précisément l'intégration de la nouvelle solution dans l'outil de production. La question à laquelle l'étude va essayer de répondre est : la solution est-elle compatible avec l'outil de production, notamment les équipements et les systèmes d'information en place, ou nécessite-t-elle des adaptations ?

Le second porte sur **l'organisation et les compétences** plus précisément sur les transformations internes à l'entreprise nécessaires à la mise en place d'une solution et sur les formations initiales et continues afin de permettre l'appropriation des solutions par les salariés. Ces transformations ou formations peuvent être des freins ou des leviers au déploiement de nouvelles solutions. Ainsi les questions posées sont : le niveau de transformation de l'organisation est-il important ? Les compétences sont-elles accessibles/disponibles ? Les entreprises rencontrent-elles de problèmes d'attractivité ?

Les freins et leviers **économiques et financiers** constituent le troisième domaine de conditions de développement retenu. La variété de tailles d'entreprise des deux secteurs concernés est importante en France ce qui pose la question de l'accessibilité aux investissements nécessaires à la mise en place d'une solution. Les financements sont-ils accessibles ? Les retours sur investissement (ROI) sont-ils jugés suffisants pour obtenir des financements ? Certaines solutions ne sont pas accessibles à des PME mais peuvent l'être pour de grandes entreprises ayant la capacité de mutualiser la mise en place d'une solution sur plusieurs sites ou de la répliquer sur un même site.

Le quatrième domaine de conditions de développement va au-delà du périmètre de l'entreprise et porte sur **les écosystèmes**⁵¹. Comment est-ce que les nouvelles formes de partenariat, dues à une évolution des relations entre les acteurs d'une chaîne de valeur et avec des offreurs de solutions, permettent de mettre en place les solutions identifiées. Quels sont les freins liés à l'ouverture de sa connaissance, d'informations sur l'activité de la société ou de ses assets à des acteurs externes à l'entreprise ? Comment tirer parti des business models qui se complexifient de plus en plus ?

⁵¹ Définition d'écosystème par Olivier Torrès en 2000 : « Coalition hétérogène d'entreprises relevant de secteurs différents et formant une communauté stratégique d'intérêts ou de valeurs structurée en réseau autour d'un leader qui arrive à imposer ou à faire partager sa conception commerciale ou son standard technologique ».

Domaine de conditions de développement

La cinquième catégorie de conditions de développement retenues porte sur **la réglementation et la normalisation**. Y a-t-il des incitations étatiques ou des contraintes poussant les industriels à se tourner vers une solution en particulier ? La réglementation sur certains sujets est-elle incitative ? Le niveau de standardisation est-il suffisant ?

Le transfert technologique entre la recherche académique et l'industrie constitue le sixième domaine de freins et leviers. Les synergies entre les acteurs des secteurs peuvent constituer de formidables opportunités comme c'est le cas dans certains pays. La collaboration entre la recherche académique et l'industrie est-elle suffisante pour favoriser le développement de la solution ? Ce domaine est particulièrement pertinent pour les solutions non mûres. Néanmoins pour les solutions plus mûres, il peut être un frein ou un levier à un déploiement généralisé ou à une incrémentation de la solution.

La connaissance de la solution peut être un frein ou un levier à sa diffusion auprès des industriels. Le niveau de communication nécessaire à la diffusion de la solution est-il suffisant ? Ce niveau de connaissance ne pouvant être objectivé, il permet a minima d'identifier les axes de communication sur lesquels un effort peut être porté.

Enfin, **la culture et les croyances** constituent des conditions de développement critiques pour une solution. L'acceptabilité d'une solution de la part des salariés de l'entreprise, des syndicats et de la société est essentielle pour permettre le déploiement d'une solution aux seins des entreprises des deux secteurs. Quelles sont les craintes ou les attentes du management et des collaborateurs vis-à-vis de l'Industrie du Futur ? Ce domaine servira à définir les axes de communication des préconisations permettant de mettre en œuvre les solutions lors du volet 5 de l'étude.

L'analyse des conditions de développement permettra par la suite de proposer de recommandations pour la diffusion et la mise en œuvre des solutions retenues.

Le recensement des freins et des leviers liés à la mise en place des douze solutions sélectionnées a été réalisé lors d'ateliers. Ces ateliers d'une demi-journée ont réuni à la fois des industriels des deux secteurs, des offreurs de solutions et ont été animés par l'équipe EY, prestataire de l'étude. Pour chaque solution, l'objectif de l'atelier a été d'identifier les conditions de développement. La variété de profils au sein des participants ainsi que le format d'animation et le nombre de participants a permis des échanges riches et pertinents.

Chaque atelier a permis d'aborder certaines solutions. Les solutions ont été réparties par atelier en fonction de la catégorie d'enjeu à laquelle la solution répond principalement. Les deux thèmes retenus sont la performance industrielle et le numérique et le développement durable et les procédés. Pour la relation client, l'analyse s'est faite à travers des entretiens et une étude bibliographique.

Description des freins et des leviers issus des ateliers, des entretiens, des cas industriels et de la bibliographie

Analytics industriel

Pour rappel, l'analytics industriel regroupe les sujets de maîtrise des procédés et de maintenance. La solution correspond à l'utilisation d'algorithmes d'analyse de données pour optimiser la maîtrise des procédés et anticiper les défaillances des équipements pour la maintenance.

Pour les solutions analytics industriel, MES et IIoT et simulation numérique, les freins et les leviers à la mise en place de ces solutions sont presque tous communs. Lorsqu'ils le sont, ils ne seront développés que dans la partie sur l'analytics industriel. Les freins et leviers spécifiques seront développés dans chaque partie.

Dans le domaine technique et dans celui lié aux compétences, le manque de compétences en gestion de la donnée telles qu'elles sont décrites dans le volet 3 de cette étude est un frein au développement de ce type de solution. Les industriels rencontrés et les études sur le sujet font état d'un déficit de salariés capables de gérer ce type de projet. L'un des leviers permettant de lever ce frein est la formation de ces salariés. Cette formation peut se faire en interne mais nécessite de doter l'entreprise d'une structure de formation à même de proposer des modules sur le sujet. Une alternative à ce levier est l'embauche de personnes formées sur cette compétence précise de gestion de la donnée. Cette alternative est néanmoins plus difficile à mettre en place, notamment à cause de son coût lié à la rareté de ce type de profil sur le marché et à cause du délai de montée en compétences sur le sujet par rapport à un salarié en interne qui serait déjà familier du sujet.

Le déploiement de cette solution dépend de la disponibilité de la donnée. Il s'agit d'un préalable nécessaire à l'analyse et à la modélisation des processus de production ou de fonctionnement d'équipements industriels.

Le manque de compétences en cybersécurité des entreprises pour se protéger des potentielles attaques peut être un frein au développement de ces solutions. Sans la capacité à se protéger d'éventuelles attaques extérieures, les entreprises ne passent souvent pas le cap de ce type de solution. Comme précédemment, l'entreprise peut lever ce frein en constituant une équipe d'expert en cybersécurité au sein de son service des systèmes d'information ou embaucher en externe.

Plus généralement, une réflexion avec les organismes sur la formation initiale et la formation continue dans ces domaines doit permettre de mieux préparer les jeunes ingénieurs et techniciens aux besoins des industriels du secteur.

L'un des freins mis en avant par les industriels lors des ateliers est **générationnel**. En effet, une part significative des populations rencontrées dans les entreprises du secteur de la chimie sont en fin de carrière. En 2012, 26,3% des salariés de la branche chimie avaient plus de 50 ans et 13% avaient plus de 55 ans⁵². Cette génération n'est pas encline à changer ses modes de travail et préfère conserver ses habitudes de travail d'après le sondage mené par OpinionWay et EY auprès de 152 sociétés⁵³. La conduite du changement est un levier pour mettre en place ces nouvelles solutions. Un accompagnement et l'implication de représentants des ressources humaines est un levier permettant de mener à bien ces projets. Certains industriels ont pu témoigner de la réussite de leur projet grâce à ce levier.

Plus généralement, l'industrie n'attire pas suffisamment les jeunes même si la tendance semble s'inverser. 76%⁵⁴ des lycéens ont une bonne opinion de l'industrie et 42% souhaitent y travailler. Le rythme en 3x8 ou 5x8, qui est souvent celui des secteurs étudiés, avec des horaires de nuit ou les week-ends rendent l'équilibre vie professionnelle et vie privée difficile à satisfaire. Pour autant, les nouvelles solutions technologiques offrent un potentiel d'attractivité auprès des jeunes générations en digitilisant les opérations et en rendant l'environnement industriel moins pénible. C'est notamment le cas pour les activités de maintenance, activité pour laquelle les recrutements sont difficiles et qui peut être facilitée par l'utilisation de la maintenance prévisionnelle ; les interventions peuvent alors être réalisées selon un planning établi et réduire ainsi un mode réactif où les interventions peuvent avoir lieu n'importe quand.

De plus, les sites des entreprises industrielles se situent la plupart du temps en dehors des métropoles. L'Industrie du Futur est un moyen de rendre attractifs les métiers de l'industrie et les territoires sur lesquels se trouvent les sites industriels. Il est nécessaire d'exploiter ce levier grâce à des actions de communication sur la modernisation des environnements de travail en usine. Ce problème d'attractivité de l'industrie est notamment lié au travail posté. Cependant, la valorisation des métiers grâce à l'impact technologique de l'Industrie du Futur est un levier sur lequel il est nécessaire de communiquer pour moderniser l'image de l'industrie et des métiers d'opérateurs et de techniciens en usine. Une partie du travail posté ou de week-end peut être supprimé ; c'est ce que Air Liquide a pu initier pour les métiers de production *via* le projet Connect (pilote à distance des sites) ou ce que l'on peut trouver *via* les systèmes de maintenance prévisionnelle en réduisant la part des arrêts de week-end (en intervenant de manière conditionnelle lors des arrêts de production par exemple).

Concernant le défi organisationnel, les organisations existantes sont généralement Lean, c'est-à-dire qu'elles ont appliqué les concepts du Lean management notamment en termes de réduction des gaspillages et de tâches inutiles. De fait, il peut être difficile de dégager des capacités de projets pour mettre en place ces solutions. La constitution des équipes en interne a été optimisée afin qu'elles se concentrent sur des activités opérationnelles. Les postes d'ingénieur process ont en particulier été allégés. Il convient dans certains cas de se redoter de capacité d'ingénierie process pour travailler avec des data scientists (internes ou externes) et identifier les bonnes solutions algorithmiques.

En termes de transfert technologique entre la recherche académique et l'industrie, la capacité des équipes opérations d'un industriel à alimenter la R & D par des données issues de la production est une condition de développement à l'amélioration des procédés de fabrication grâce à l'analytique industrielle. La conception de modèles prédictifs tels que le machine learning⁵⁵ se fait à partir de masses importantes de données. Pour que les chercheurs des établissements d'enseignements supérieurs puissent mettre au point des modèles plus aboutis et plus précis, ils ont besoin de s'appuyer sur des données réelles de production, de logistique ou de maintenance afin de pouvoir proposer des algorithmes pouvant trouver des cas d'applications dans l'industrie.

Concernant les défis liés à la culture et aux croyances, la cybersécurité est un sujet pour lequel les informations sont souvent alarmistes. Il existe des croyances qui ne sont pas systématiquement fondées sur les risques liés à la cybersécurité et qui sont principalement dues à une méconnaissance du sujet. Cela peut être un frein au développement de ces solutions par crainte des attaques potentielles alors qu'il existe des systèmes de protection permettant de mettre sous contrôle ces risques. Les transmissions issues des automates modernes sont systématiquement cryptées. Pour les automates plus anciens, il existe des relais permettant de crypter l'information. Une meilleure connaissance technique de la solution permettrait de lever ce frein. La mise en place de plateformes de démonstration de ces technologies peut permettre une acculturation et une meilleure connaissance sur ces sujets.

⁵² D'après le « L'emploi des industries chimiques en 2015 » de l'Observatoire des industries chimiques

⁵³ enquête téléphonique menée pour EY France par OpinionWay, institut de sondages d'opinion. 152 dirigeants d'entreprises industrielles de 100 salariés et plus réalisant un chiffre d'affaires d'au minimum 20 millions d'euros ont été interrogés entre le 30 novembre et le 8 décembre 2017.

⁵⁴ D'après l'enquête d'Opinion Way de juin 2017 »

⁵⁵ Le machine learning (apprentissage automatique ou apprentissage machine) est un champ d'étude de l'intelligence artificielle. Il concerne l'analyse, le développement et l'implémentation de méthodes permettant à une machine d'évoluer par un processus systématique et de remplir des tâches difficiles ou problématiques par des moyens algorithmiques plus classiques.

Cybersécurité en environnement industriel – quelques repères

Les sabotages industriels avec de lourdes conséquences restent encore rares mais dans les industries de process où une grande partie du pilotage des installations est automatisé, le risque de cyberattaque avec un potentiel de dommages importants existe.

Fin 2014, une aciérie allemande a été victime d'une cyberattaque. Les hackers ont réussi à prendre le contrôle des logiciels de production de l'usine causant ainsi de lourds dégâts matériels ; ils ont détruit méthodiquement des composants d'interfaces hommes-machines et ont ainsi empêché un haut fourneau de se mettre en sécurité à temps et causé de gros dégâts à l'infrastructure.

Plusieurs principes de solutions existent pour réduire les risques :

- **Organisationnel** : rapprocher les équipes informatiques et informatique industrielle ; les équipes informatiques ont acquis une culture de protection qui n'est pas encore intégrée, dans de nombreux cas, dans les équipes informatique industrielle.
- **Technique** : diagnostiquer et reconcevoir les architectures informatiques de gestion/industrielle/réseaux ; et mettre en place les actions : segmenter les réseaux, se doter de relais permettant de crypter les informations entrantes ou sortantes d'anciennes générations d'automates,...
- **Préventif** : se doter de plans de surveillance et de de Plan de Reprise d'Activité en cas d'incident

L'ANSSI (Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information) a édité un guide utile pour l'environnement industriel : « Maîtriser la SSI pour les systèmes industriels »

De plus, il existe des croyances dans l'industrie, au sein des ateliers, selon lesquelles le réglage manuel est plus performant qu'un réglage automatique car les opérateurs et techniciens connaissent mieux la machine. Ils travaillent dessus depuis des dizaines d'années. Les petits carnets d'équipe qui se transmettent à un poste donné avec les conseils pour le réglage des machines sont aussi un frein à la mise en place de solutions « digitales ». Les salariés peuvent avoir le sentiment d'être dépossédés d'une partie de leur savoir.

De la même manière que pour les conditions de développement en organisation et compétences, celles liées à la culture et aux croyances sont en majorité communes pour l'analytics industriel, le MES et l'IoT et la simulation numérique.

MES et IIoT

Pour rappel, cette solution correspond à l'utilisation d'un Manufacturing Execution System, MES, pour piloter la production et de capteurs industriels transmettant des données (paramètres process et suivi de la production) à travers une plateforme d'internet des objets (IIoT : Industrial Internet of Things). La solution MES est un logiciel qui va venir s'intercaler entre les logiciels de gestion de type ERP et les logiciels des automates de l'outil de production. Chaque logiciel communique avec le MES qui est à l'interface et qui permet de s'assurer la cohérence entre le déclenchement d'un ordre de fabrication dans un logiciel de gestion et l'action d'un automate en production.

Dans le domaine technique, concernant l'Industrial Internet of Things, l'application de l'internet des objets à l'industrie, le manque de capteurs industriels et parfois la fiabilité de ces capteurs dans un environnement de production peut être un frein au développement de cette solution. De plus, l'un des freins de la solution est la nécessité d'avoir un certain niveau d'automatisation du processus de production sur lequel implémenter le MES ou l'IIoT. Sans infrastructure de systèmes d'information minimale, l'investissement pour déployer ce type de solution peut s'avérer important et être un frein à sa mise en œuvre.

L'un des leviers à la disposition des industriels pour cette solution sont les soft sensors ou software sensors (capteur logiciel). Les données captées par la partie capteur de l'appareil vont être transformées par la partie logiciel de l'appareil pour être ensuite transmises sous forme de signal à une plateforme d'internet des objets permettant d'accéder à l'état de l'outil de production en fonction du type d'information captée. Les données que l'on peut trouver sur cette plateforme peuvent être des données de température, de pression, de vibrations pour les machines tournantes, de viscosité, de pH, d'humidité, etc... Toutes ces données servent à alimenter des algorithmes qui vont les analyser afin d'identifier comment optimiser les réglages des machines ou la quantité de réactifs ou de catalyseurs à introduire pour améliorer la performance industrielle, que ce soit en terme de délais de production, coûts ou qualité produit.

Par ailleurs, les automates présents dans les usines chimiques et papetières sont souvent anciens. L'architecture des automates n'est souvent pas communicante ce qui peut être un frein à l'utilisation des données. L'un des leviers dont dispose les industriels est la mise en place de microCPU pour connecter les automates. Un microCPU

est un microprocesseur dont tous les composants ont été miniaturisés dans un boîtier. Fonctionnellement, il exécute les instructions et traite les données des programmes. Dans le cas présent, il est connecté à l'automate pour traiter les données générées par celui-ci.

Les freins et les leviers en organisation et compétences de cette solution sont presque tous communs à ceux de l'analytics industriel, le MES et l'IoT et la simulation numérique. Il s'agit du manque de compétences en gestion de la donnée et en cybersécurité, du phénomène générationnel qui peut être un frein ou un levier selon la génération concernée et enfin, l'attractivité de l'industrie vis-à-vis de la société est un frein important au développement de ce type de solution et au maintien de l'industrie en France.

La mise en place d'une solution MES peut être coûteuse (entre 100 k€ et 1M€) et un frein pour des PME, ETI. L'alternative aux solutions de type MES est la solution de type IoT avec des plateformes cloud moins coûteuses à mettre en place.

Grâce à la connectivité de soft sensors pouvant être mis en place au niveau des automates, il est possible d'avoir recours à une plateforme d'internet des objets qui fera l'interface entre les logiciels de gestion et les logiciels des automates de production. C'est une alternative au MES.

L'OPC UA (Open Connectivity - Unified Architecture) rend l'ensemble des systèmes interopérables, tout en garantissant un haut niveau de sécurité grâce à la prise en compte des derniers standards de **cybersécurité**. Il permet d'établir un pont entre le monde des systèmes d'information et le monde des automates ce qui est une condition au développement de cette solution. OPC UA est un protocole de communication indépendant des fabricants pour les applications d'automatisation industrielle. Il est basé sur le principe client-serveur et permet une communication transparente, des capteurs actionneurs des automates aux systèmes ERP ou au cloud. Le protocole est indépendant de la plateforme et intègre des mécanismes de sécurité. Flexible et complètement indépendant, OPC UA est considéré comme le protocole de communication idéal pour la mise en œuvre de l'Industrie du Futur. Ainsi il n'est plus nécessaire d'utiliser des interfaces et des passerelles comme ça a pu être le cas par le passé ce qui provoquait des pertes d'information. Avec la technologie OPC UA, toutes les données sont transférées *via* un unique protocole aussi bien à l'intérieur d'une machine que d'une machine à une autre ou entre une machine et une base de données dans le cloud ou entre systèmes MES, ERP et IoT. Ce standard qui s'impose au sein de l'industrie est un levier pour le développement des solutions analytics industriel, MES et IoT et simulation numérique. L'OPC Foundation est responsable du développement et de la maintenance de ce standard.

La **cybersécurité** peut être un frein important au développement de ce type de solution. Cette dimension n'est pas encore suffisamment intégrée en amont des projets. Elle s'avère donc être un frein lorsque le projet avance et que la question de la cybersécurité est posée à la fin du projet.

Cependant les recommandations de l'ANSSI, agence nationale de la sécurité des systèmes d'information, font de la France l'un des premiers pays sur les questions d'applications de **normes de sécurité des systèmes d'information**. C'est un levier de développement que les industriels français peuvent mettre à profit.

D'un point de vue sécurité, l'usage d'équipements mobiles doit respecter la réglementation ATEX.

La **méconnaissance** des coûts réels des solutions est l'un des principaux freins au développement des solutions d'analytics industriel, MES et IoT et de simulation numérique. L'hétérogénéité des industriels de la chimie et du papier-carton étant très variables, il n'est pas possible de donner précisément la valeur des investissements pour se doter de telles solutions. En effet, il dépend du point de départ de l'industriel, de son type d'activité, du nombre de sites concernés. En France, le Club MES est une association créée par des offreurs de solutions à l'écoute des utilisateurs. Un livre blanc sur « La place du MES dans l'Usine du futur » paraîtra en octobre 2018 lors des Assises du MES. L'utilisation des organismes interentreprises, sectoriels ou régionaux pour aborder des sujets Industrie du Futur doit permettre aux industriels d'échanger et de partager les bonnes pratiques.

Néanmoins les solutions cloud *via* des plateformes d'internet des objets restent à faire connaître et sont un levier à actionner à l'avenir. La vitesse de connexion et l'extension des zones ayant accès à internet devront permettre de faciliter l'accès à ce type de solutions.

Enfin la création d'un **label de traçabilité** grâce à ces technologies pourrait constituer un levier au développement de ces solutions.

Au-delà de ce qui est décrit dans la partie sur l'analytics industriel, l'un des leviers pour le développement de l'Industrial Internet of Things est l'**acceptabilité** des solutions de type plateforme cloud car elles s'intègrent aux systèmes existants et ne nécessitent pas un déploiement massif d'un nouveau système de type MES qui peut être très prenant et impactant pour les équipes opérationnelles.

Simulation numérique

La solution Simulation numérique constitue un ensemble de technologies permettant la modélisation numérique (par étape ou non) d'installations qui peut être combinée à une expérience immersive de visualisation lors de projets de nouvelles installations, intégrant les équipements process et permettant de simuler les flux et les procédés de transformation. La modélisation des flux, la maquette numérique, le jumeau numérique et la simulation de procédés sont les technologies composant cette solution.

Dans les domaines économique et financier, l'un des freins au déploiement de la simulation numérique est l'ancienneté des équipements dans les deux industries de l'étude. La plupart de ces équipements n'ont pas de modèle numérique représentant leur fonctionnement. Mais des systèmes de numérisation par capture et analyse d'images existent pour pré-identifier des éléments et faciliter le travail de numérisation.

Les freins et les leviers en organisation et compétences de ces solutions sont presque tous communs avec les 3 premières solutions. Il s'agit du manque de compétences en gestion de la donnée et en cybersécurité, du phénomène générationnel qui peut être un frein ou un levier selon la génération concernée et enfin, l'attractivité de l'industrie vis-à-vis de la société est un frein important au développement de ce type de solution et au maintien de l'industrie en France. Nous pouvons également souligner la difficulté possible de collaboration des employés sachants pour apporter leur connaissance dans la formalisation du procédé. La tradition du « petit carnet » dans lequel des employés expérimentés consignent leurs propres réglages reste toujours d'actualité sur de nombreux sites industriels. La simulation de procédé implique en particulier un partage des connaissances, d'une part, et un respect, qui peut être critique, des résultats de la simulation. Un tel projet nécessite une association des sachants du process dès le démarrage de la démarche en objectivant les gains potentiels sur lesquels ils peuvent se retrouver (facilitation de l'amélioration continue, support aux équipiers moins expérimentés, facilitation de la formation).

Automatisation des activités logistiques

L'automatisation des activités logistiques consiste à utiliser des machines telles que des AGV pour l'optimisation des activités logistiques internes.

Les technologies actuelles d'AGV ne nécessitent plus l'installation d'infrastructures lourdes de guidage. Mais leur commande nécessite d'avoir un système d'information temps réel identifiant les points de départ et d'arrivée du transfert d'un produit ou l'endroit de stockage optimal. Il est parfois nécessaire de faire des travaux conséquents lorsque le sol de l'entrepôt est dans un état trop délabré.

Le chargement et déchargement de remorques ne sont pas encore opérationnels par des systèmes automatisés.

Dans le domaine organisationnel, l'automatisation des activités logistiques conduit à une réorganisation des processus de travail de la logistique interne. Une redistribution des tâches des opérateurs logistiques doit être réalisée en distinguant les flux ou partie de processus automatisés/non automatisés. À partir d'une certaine taille de flux à gérer, une compétence ingénieur logistique avec une expérience SI peut être intégrée.

Sauf à mettre en place des solutions alternatives, il peut être nécessaire d'arrêter la production et donc l'envoi des commandes pour mettre en place ce type de solution, ce qui peut être un frein important au déploiement de cette solution.

D'autre part, leur utilisation nécessite des zones d'entreposage rangées de manière bien identifiées.

En termes de **sécurité**, l'utilisation de systèmes automatiques a tendance à sécuriser les activités logistiques en éliminant les erreurs humaines. La difficulté vient de la cohabitation entre activités logistiques humaines et automatiques.

La rentabilité de l'automatisation de la logistique peut être assez rapide sur certaines activités répétitives (de 50 k€ à 150 k€ pour un AGV soit un retour sur investissement sur un à trois ans). Mais des adaptations à des configurations particulières de stockage ou des adaptations poids et formes peuvent renchérir le coût des solutions. La réorganisation d'une zone de stockage avec un ajustement de la hauteur des racks, l'espacement entre les allées peut entraîner des coûts supplémentaires significatifs pouvant être un frein au déploiement de cette solution.

Des entreprises françaises, de moindre taille par rapport aux géants japonais et américains, offrent des solutions. Elles ont quelques projets dans les domaines de la chimie et du papier où les objets à transporter peuvent avoir des caractéristiques particulières (bobines, fûts).

- Le Français Balyo a mis un point un système de géolocalisation et de robotisation qui transforme les chariots de manutention standards (pilotés manuellement) pour les rendre autonomes ;

- BA Systèmes, un leader français du marché des AGV, et Alstef, spécialiste des systèmes de manutention automatisée pour le stockage grande hauteur et la préparation de commandes sur palettes, se sont regroupés début mars sous l'égide de Future French Champions (CDC International Capital-Qatar Investment Authority) pour créer B2A Technology, un nouveau leader français à 100 millions d'euros de chiffre d'affaires.

Dans le domaine de la réglementation, les normes de sécurité issues de la législation française et européenne (la directive machine 2006/42/CE et la norme NF EN 1525) sont intégrées dans les solutions AGV. Certaines PME ont tendance à recourir à du matériel d'occasion, obsolète, qui ne respectent pas ces évolutions réglementaires. Passer à une solution AGV, si le flux rend cette solution rentable, permet de se remettre en conformité.

Plusieurs acteurs n'ont pas encore mis en œuvre des solutions d'automatisation de la logistique face au risque de blocage social. **L'acceptabilité sociale** peut être faible si le projet se fait uniquement dans une optique de réduction d'effectifs. L'automatisation peut également être une aide pour les opérateurs et il convient de présenter un projet global de refonte des activités logistiques internes. Pour éviter des situations difficiles, il est nécessaire d'accompagner ce type de projet avec un plan de reconversion des salariés impactés.

Les compétences techniques pour évaluer la complexité et la faisabilité du projet peuvent également manquer et entraîner de mauvaises évaluations. Par exemple, les retours d'expérience de certains projets ont mis en avant la planéité du sol comme étant un élément clé à prendre en compte dans le budget du projet.

Intensification des procédés

L'intensification des procédés est une solution composée notamment des méso-réacteurs, réacteurs de microstructure permettant une réaction en continu.

La capacité de cette solution à être intégrée à un process batch permet une évolution progressive des installations.

Dans le domaine technique et lié aux compétences, le frein principal de cette solution est la cristallisation et le passage de réactifs organiques et la formation de résidus chimiques d'une réaction peut entraîner un encrassement progressif des microcanaux

Ce type de procédé nécessite une forte évolution car les compétences nécessaires pour l'utilisation de ce procédé sont différentes d'un procédé en batch. C'est un changement significatif pour les ingénieurs process. De plus, les compétences nécessaires pour maîtriser ce type de procédé ne sont pas intégrées au tronc commun de la formation initiale des ingénieurs chimistes.

Le nombre d'opérateurs nécessaires pour cette solution est inférieur au procédé type batch. En revanche, il est nécessaire d'avoir des personnes plus qualifiées pour suivre le process.

Enfin, il faudra plusieurs années aux ingénieurs ayant acquis en formation initiale des compétences sur le sujet pour monter les échelons hiérarchiques et pousser pour l'adoption de ce type de solution.

Dans le domaine économique et financier, les gains OPEX en matière et en énergie sont de nature à faciliter le retour sur investissement d'une installation de type méso-réacteur.

Le frein économique principal de cette solution est l'investissement financier à fournir pour se doter d'équipement de type méso-réacteur. Une installation industrielle de ce type commence autour de 200 k€ ; ces installations sont généralement moins onéreuses qu'une installation batch classique mais leur investissement ne peut vraiment se justifier que pour les installations neuves (vs substitution d'une installation existante et fonctionnant normalement).

Enfin, l'un des leviers économiques pour le développement de la solution peut être un blocage sur un procédé de type batch qui va paralyser la production et ainsi inciter à envisager une alternative, l'intensification des procédés.

En matière de transfert technologique entre la recherche et l'industrie, l'utilisation de plateformes partagées dotées de ce type d'équipement par plusieurs industriels constitue un levier pour les industriels du secteur. L'Université de Liège travaille sur ces sujets au sein de son département de chimie appliquée. Ils ont récemment créé un poste dédié à l'intensification des procédés de l'industrie chimique basée sur l'analyse systémique. Le titulaire a pour mission de développer des outils permettant d'établir l'architecture générale d'un procédé industriel. Au sein de l'école d'ingénieur ENSIACET, du groupement INP Toulouse, il existe un stage court sur l'intensification des procédés visant à familiariser les stagiaires avec le concept d'intensification des procédés en mettant l'accent sur la transposition batch-continu et en faisant appel à des technologies miniaturisées innovantes.

La MEPI (Maison Européenne des Procédés Innovants) à Toulouse est une plateforme technologiques permettant de réaliser des preuves de concept sur la base de démonstration industrielles le plus souvent à l'échelle pilote avec des équipements diversifiés. Cette plateforme est un levier pour les industriels français.

En termes de réglementation, la réglementation liée à la sécurité des installations chimiques peut être un levier au développement de l'intensification des procédés. C'est le cas par exemple en Chine où suite à de nombreux accidents industriels, une législation a été mise en place en Chine sur les sites dangereux pour minimiser les risques industriels. Si le site de production a été catégorisé comme très risqué, le procédé continu est imposé. Le recours à l'intensification des procédés à la place d'un procédé en batch permet de réduire le risque. Néanmoins il est difficile de quantifier les gains en termes de sécurité.

Le gain de temps lors de la mise à l'échelle et du passage des tests en laboratoire à un processus industriel est un levier lié au transfert technologique entre la recherche académique et l'industrie. Cependant la démarche de sélection du processus éligible à une application industrielle peut être un frein à son développement.

La capacité d'alimenter en données industrielles de production les organismes de recherche pour la réalisation d'analyse peut leur permettre de proposer des innovations aux industriels.

Concernant la connaissance de la solution, les publications récentes du MIT ont contribué à la diffusion de connaissance de la solution auprès des industriels et des organismes de recherche. Cependant une méconnaissance de la technologie et de ses implications techniques persiste notamment à cause du manque de compétences en interne pour appréhender la dimension technique de la solution. Les sociétés d'ingénierie réalisant les études techniques pour le développement de procédés ne connaissent pas suffisamment la solution et constitue un frein à sa diffusion.

La concurrence en interne entre les équipes travaillant sur les procédés en continu et les procédés en batch nuit au développement de la solution. De plus, les chimistes ne voient pas l'intérêt de changer un processus qui fonctionne.

Lors des études économiques, les industriels ne prennent pas systématiquement en compte le fait que l'investissement a déjà été réalisé pour les processus en batch. Ceci reste un frein au développement de la solution. D'autre part, les modélisations économiques ne prennent généralement pas en compte les coûts en moins une fois le nouveau dispositif mis en place.

Enfin, **une composante culturelle et de croyance** existe en lien au fait que les procédés en continu impliquent une nouvelle façon de penser de la part des ingénieurs en procédés chimiques et nécessitent d'identifier un projet compatible et cohérent avec la technologie pour convaincre les décideurs de changer ou d'innover sur leur mode de production.

Simulation de formulation et conception produits grâce à l'IA

Cette solution correspond à la simulation pour modéliser de nouveaux types de molécules afin d'accélérer la conception de nouveaux matériaux.

Dans le domaine technique, le frein est double : la puissance de calcul nécessaire (ordinateurs quantiques pour modélisations complexes) et algorithmes de simulation quantique en relativement petit nombre à l'heure actuelle.

Les chercheurs doivent s'adapter à un nouveau mode de travail où l'expérimentation cède la place à la simulation. Cela requiert l'acquisition de compétences en utilisation de logiciels de simulation. Une forte coopération entre les équipes de développement produit des industriels et des équipes de recherche CEA ou CNRS dans le domaine de la simulation quantique apparaît également nécessaire afin de pouvoir adapter les techniques de simulation.

Dans le domaine économique et financier, le principal frein économique est le niveau de coût de la solution dans sa version la plus aboutie, ce qui requiert l'utilisation d'ordinateurs quantiques. Mais ce type d'investissement pourrait être mutualisé entre plusieurs acteurs de la filière chimie avec possibilité de lancer des simulations à la demande.

La France bénéficie d'un **écosystème favorable** de recherche scientifique publique dans le domaine de la simulation quantique ainsi que dans le domaine des supercalculateurs. La France dispose d'une recherche de qualité dans le domaine des simulateurs quantiques, notamment avec des équipes du CEA à Saclay et à Grenoble ainsi que de nombreuses équipes du CNRS. Il existe aussi quelques startups dans les couches basses physiques du quantique comme Muquans et ses outils de métrologie quantique, Cryoconcept et ses systèmes de cryogénie, et Quandela avec ses sources de photons. Atos, enfin, se positionne pour devenir un acteur des supercalculateurs et du logiciel dans le calcul quantique. La région Ile-de-France qui vise être la première smart région d'Europe, programme « Smart Region Initiative », a attribué une subvention de 5 M€ à Atos pour son projet d'informatique quantique réalisé au laboratoire quantique d'Atos dans les Yvelines. Le CEA *via* son centre de calcul recherche et technologie (CCRT) collabore avec Atos sur ce projet.

Par **manque d'investissement** encore par les industriels dans le domaine des ordinateurs quantiques, le transfert reste faible.

Ce type de solution est **connu des grands acteurs du marché** mais moins par les PME, l'accès à cette solution étant réservé à des grands groupes industriels. Néanmoins, une démocratisation de l'accès serait possible par le biais de ressources informatiques mutualisées.

Le domaine est vu comme peu accessible par les acteurs de la chimie au regard des **investissements importants** en puissance de calcul à réaliser ; mais une mutualisation respectant la confidentialité des simulations par entreprise pourrait rendre l'accès possible.

IoT lié au produit

La solution correspond à la mise en place de capteurs liés au produit permettant de mieux comprendre l'usage, de tracer les flux, de faire évoluer l'offre proposée aux clients. Elle est composée de 3 piliers : l'appareil, la connectivité et la plateforme.

Dans le domaine technique, les technologies de communication liées à l'IoT dites infrastructures réseaux sont **matures** et ne constituent pas un frein à leur déploiement. Sigfox⁵⁶ ou Lora⁵⁷ sont des réseaux proposés par les opérateurs télécom français. La technique n'est pas un frein au développement de cette solution. De plus, le réseau IoT SigFox couvre plus 94% de la population en France. La taille de ce type d'objet peut être autour d'une dizaine de centimètres de long ce qui est relativement faible pour des actifs industriels de taille beaucoup plus importante.

L'objectif de l'IoT lié au produit est d'offrir de nouveaux services. Si des gains de productivité sont réalisés en production, des personnels de production pourraient évoluer vers de nouveaux métiers issus des nouveaux services permis par l'IoT. Cependant, il s'agit de profils orientés, relation client. La France bénéficie d'un contexte favorable pour la conception de dispositif utilisant l'IoT grâce à ses nombreuses *start-up* ainsi qu'un leader des réseaux basse fréquence (Sigfox).

En termes économiques et financiers, les appareils et capteurs permettant de faire de l'internet des objets liés au produit sont particulièrement accessibles puisque l'on peut trouver des capteurs connectés de ce type pour une centaine d'euros. De plus, les avancées technologiques dans ce domaine tendent à réduire les coûts d'accès à cette solution, à la fois pour la connexion aux infrastructures réseaux et pour le coût des appareils.

Le recours à ce type de solution se fait généralement par abonnement mensuel. Le client paie 40% à la commande et 60% à la livraison ce à quoi il faut ajouter le coût à l'usage.

Les grands groupes sont généralement les cibles des entreprises proposant ce type de solution dans la mesure où il y a une logique de volume dans l'accès à ces solutions dans la mesure où les tarifications des offreurs de solution sont dégressives sur le volume.

Dans certains cas, plusieurs acteurs locaux s'associent pour atteindre un seuil critique permettant d'accéder à la solution pour un coût abordable.

En termes de réglementation, la variété des acteurs dans le secteur de l'internet des objets n'a pas encore permis de voir émerger une norme sur le sujet même si deux des plus grands rivaux de l'IoT ont fait un pas l'un vers l'autre en 2016. Une nouvelle fondation - l'Open Connectivity Foundation (OCF) - a été créée pour réunir la AllSeen Alliance, partisane de l'AllJoyn développée par Qualcomm, et le Consortium Open Interconnect d'Intel.

Les acteurs s'orientent vers une consolidation du marché afin de tendre vers une norme.

Au sein de l'écosystème, les solutions IoT liés aux produits sont matures et sont développés directement en entreprise. Les synergies entre les start-up du secteur de l'IoT et les groupes industriels permettent de développer ces technologies.

Cette solution est encore **mal connue des industriels** et ils ne disposent généralement pas de personnes en interne pour développer ce type de solution.

L'internet des objets est initialement plutôt envisagé pour du B2C avec des montres connectés, chaussures connectées et tout autre objet du quotidien connecté. L'application pour des produits industriels afin d'améliorer la qualité de service rendue au client n'est pas encore bien assimilée.

⁵⁶ Le réseau Sigfox est une offre de service basé sur les protocoles réseaux sans fil bidirectionnel Sigfox. L'offre commerciale actuelle en France permet, par jour et par périphérique (capteur), le rapatriement de 140 messages de 12 octets et l'envoi de 4 messages aux détecteurs. Le réseau utilise la bande de 868 MHz avec un débit de 100 bit/s. La portée est de 30 à 40 km grâce à des antennes de 2 m de hauteur.

⁵⁷ Le réseau dit Lora est un réseau dont le protocole LoRaWAN s'appuie sur la technique de modulation (couche physique) LoRa. Le réseau permet de connecter des données de capteurs ou d'objets nécessitant une longue autonomie de batterie (compter en années), ayant un volume limité (taille d'une boîte d'allumettes ou d'un paquet de cigarettes) et un coût réduit.

Plateforme collaborative

Il s'agit d'une plateforme en ligne ouverte à des acteurs externes à l'entreprise pour partager des informations telles que des bonnes pratiques, des besoins clients, des données logistiques, de production ou maintenance, des travaux de recherche,...

La mise en place d'une plateforme collaborative permet de constituer des communautés d'experts.

En termes organisationnel et lié aux compétences, l'un des leviers pour le déploiement de cette solution est la capitalisation d'information et son partage. Elle permet d'améliorer la communication et la productivité entre les réunions physiques et de faciliter le processus de validation et de décision.

Enfin l'un des leviers est le développement de la responsabilité réciproque des membres du groupe de travail ainsi que la notion de copilotage. Néanmoins, cela peut être un frein car ce type de solution donne le sentiment aux salariés d'être surveillés grâce aux informations captées par la plateforme.

Il existe une grande variété de solution possible avec des prix d'accès très larges. Ces solutions peuvent bénéficier aux PME et aux grands groupes.

La France dans un cadre européen a réussi à mettre en place une plateforme collaborative pour l'ensemble d'une filière à l'instar d'AeroBoostSpace pour l'aéronautique.

Ce type de solution est très **connu entre particuliers** avec les réseaux sociaux ou les plateformes de consommateurs partageant leur retour d'expérience sur l'achat et l'utilisation de tels produits ou services. D'autre part, il existe des outils de communication collaboratifs tels que Skype mais des plateformes collaboratives regroupant les 4 types d'outils mentionnés précédemment ne sont pas encore présents dans l'industrie à l'échelle d'une entreprise. Cependant il existe certaines plateformes pour certaines communautés d'utilisateurs tels que des techniciens de maintenance.

La dimension sociale d'une plateforme collaborative est un levier à son développement. De plus en plus de personnes utilisent les réseaux sociaux et ont recours à des plateformes collaboratives dans leur vie privée. L'application de ce type de solution à l'entreprise permet aux salariés d'évoluer dans un environnement professionnel similaire à leur environnement privé. Les usages résultant de cette utilisation sont acceptés par les salariés.

Marketplace

La marketplace est un cas d'usage de la plateforme collaborative externe. Elle est considérée distinctement de la solution précédente car elle porte un sujet économique important pour l'ensemble des acteurs de la filière chimie ou du papier-carton. Il s'agit d'un site internet rassemblant un ou plusieurs acheteurs avec des fournisseurs.

Les marketplaces offrent un **levier économique** aux industriels des secteurs de la chimie et du papier-carton de mettre en avant leur produit. En effet, elles offrent de la transparence aux clients finaux sur le choix des matières premières auxquelles les industriels vont avoir recours leur de leur processus de fabrication. Ce type d'information est directement accessible et transparente *via* une marketplace ce qui va permettre à des industriels de mettre en avant leur marque et leur positionnement sur le marché.

Par exemple, dans les cosmétiques, le marché de l'emballage fonctionne avec des petites séries à cause des phénomènes saisonniers et des promotions qui ont lieu tout au long de l'année. Une plateforme telle que Packitoo permet de mieux connaître les besoins et ainsi d'adapter sa production aux demandes client.

La robustesse de la sécurité des marketplaces a été prouvée par de nombreux acteurs du secteur dans le B2C.

Un frein en termes de compétences au déploiement de cette solution peut être la gestion de ce type de plateforme. Les industriels n'ont pas systématiquement les ressources à même d'assurer le déploiement de ce type de solution.

Actuellement **l'écosystème** des plateformes dans la chimie et le papier est faible, il y a donc des positions à prendre. Il s'agit avant tout d'être le premier à avoir du trafic important. Une réflexion sur la constitution d'écosystèmes pertinents doit permettre de faire émerger des besoins pour un ensemble d'acteurs qui bénéficieraient d'une marketplace propre à cet écosystème.

La réglementation concernant les marketplaces notamment en matière de fiscalité est encore instable.

En termes de connaissance de la solution, la marketplace est connue pour le B2C avec des plateformes comme Airbnb, Booking.com, etc... Les marketplaces dans les secteurs considérés sont peu nombreuses et peu connues. Cependant, des *start-up* telles que Packitoo, marketplace spécialisée dans le sourcing du packaging, commencent à être connues des industriels des secteurs.

Imaginer que seul un opérateur « disruptif » externe au secteur peut monter une marketplace est **une croyance**. Uber avec les taxis ou AirBnb avec les hôtels dans le B2C sont des exemples parlant de ce

phénomène. Cette croyance est un frein au développement de la solution. Cependant, après un temps d'évangélisation, les industriels prennent conscience que ce type de solution leur permet de diffuser plus largement leurs offres et ainsi d'élargir leur carnet de commandes pour faire le plein d'activité. Du côté des acheteurs, cela leur permet d'avoir à disposition plus d'offres avec plus de transparence sur l'origine des produits. Ainsi, cette solution peut être organisée par un acteur ou plusieurs acteurs du secteur décidant de mettre en place une marketplace qui pèserait sur le marché et empêcherait un acteur externe de rentrer sur le marché. Il faut pour cela traiter des sujets d'entente et de confidentialité entre industriels. La gouvernance de BoostAeroSpace dans l'aéronautique, par exemple, est organisée sous forme de société dont les grands acteurs sur secteur sont actionnaires.

Biotechnologies blanches

La solution biotechnologies se concentre sur deux cas : la biologie de synthèse et la catalyse biologique. La première correspond à l'application combinant biologie et principes d'ingénierie, dans le but de concevoir et construire (« synthétiser ») de nouveaux systèmes et fonctions biologiques, pour la fabrication de molécules chimiques. La seconde correspond à l'amélioration du taux de rendement des réactions grâce à de nouveaux catalyseurs biologiques (enzymes).

Le principal frein technique pour le développement de cette solution est le manque de compétences permettant de comprendre cette solution. Étant donné qu'il s'agit de la science du vivant, il y a une dimension boîte noire pour les industriels de la chimie ou du papier.

La double compétence en biologie et chimie n'est pas répandue et peut être un frein à son développement.

La concurrence liée à l'acquisition de profils compétents sur le sujet avec le secteur pharmaceutique est un frein au développement de la solution.

D'autre part, les papetiers font appel à des chimistes pour les procédés de fabrication qui nécessitent une quantité importante de produits chimiques pour la production de pâte à papier notamment. Le développement des enzymes comme alternatives aux produits chimiques est donc difficile à cause du positionnement des fournisseurs de produits chimiques.

Il y a **peu de compétences** sur les enzymes au sein des entreprises.

D'autre part, l'utilisation d'enzymes ne nécessite **pas d'investissement lourd en infrastructure** ou en équipement puisque qu'ils sont ajoutés aux réactifs lors de la réaction.

Certains marchés d'application comme la production de vin ou la synthèse chimique de colorants ont un savoir-faire historique et restent encore peu réceptifs à une modification de leur procédé, pouvant parfois demander un investissement très important.

Dans l'écosystème, les synergies avec l'industrie agroalimentaire constituent un levier pour le développement des biotechnologies blanches qui trouvent des applications au sein des trois secteurs, la chimie, le papier-carton et l'agroalimentaire. Le phénomène sociétal demandant une meilleure traçabilité des produits consommés pour s'assurer que leur production et les matières premières sont issues de mode de production respectant l'environnement est de plus en plus marqué. Ce type de solution permet de répondre à cet enjeu sociétal.

Le SICOS Biochimie, syndicat de l'industrie chimique organique de synthèse et de la biochimie, représente les entreprises du secteur produisant, fabriquant et commercialisant des intermédiaires et matières actives au profit des industries pharmaceutique, cosmétique, parfumerie, colorants, alimentaire et l'électronique notamment. Les actions de ce syndicat permettent de **favoriser le développement de ce type de solution**. L'organisation de journée d'information technique permet de diffuser cette solution auprès des industriels du secteur ainsi que la rédaction de guide pratique.

Le pôle de compétitivité Cosmetic Valley, labellisé en juillet 2005 est levier pour le développement de la solution. En effet, cette association s'étendant sur 6 départements rassemble plus 1 500 entreprises dont 80% de PME ainsi que des organismes de recherche tels que les universités d'Orléans, Rouen, Tours, Versailles/Saint Quentin-en-Yvelines, le Havre, Cergy-Pontoise, Paris 13 et Paris Sud soient 220 laboratoires de recherche publics et 8 200 chercheurs. Le recours aux biotechnologies pour la production de produits cosmétiques au sein de ce pôle d'entreprises peut provoquer un effet d'entraînement amenant les industriels à adopter plus largement ce type de solution.

Le référentiel COSMOS mis en vigueur en janvier 2010 s'applique aux produits cosmétiques vendus comme biologiques ou naturels. Cette labélisation est un levier pour le développement des biotechnologies blanches. Il consiste à promouvoir l'utilisation de produits issus de l'agriculture biologique et de respecter la biodiversité, d'utiliser les ressources naturelles de façon responsable et de respecter l'environnement, d'utiliser des procédés de fabrication propres et respectueuse de la santé humaine et de l'environnement et d'intégrer et de développer le concept de chimie verte. La chimie verte, appelée aussi chimie durable, prévoit la mise en œuvre de principes

pour réduire et éliminer l'usage ou la génération de substances néfastes pour l'environnement par de nouveaux procédés chimiques et des voies de synthèses propres c'est-à-dire respectueuses de l'environnement. Par exemple, les traitements chimiques doivent respecter les principes de la chimie verte et les ingrédients produits doivent se conformer aux limites strictes de toxicité et de biodégradabilité. Les biotechnologies blanches permettent de s'inscrire dans cette démarche. En effet, l'ambition de ces biotechnologies est de produire durablement des substances biochimiques, des biomatériaux et des biocarburants à l'échelle industrielle et à partir de ressources renouvelables. Parmi les procédés mis en œuvre par les biotechnologies blanches figure l'utilisation d'enzymes, des protéines produites par tous les organismes vivants, comme catalyseurs de réaction chimiques. Contrairement aux catalyseurs chimiques, les enzymes sont relativement peu énergivores et agissent dans le respect de l'environnement, notamment dans le secteur de la fabrication du papier ou de la production de détergents.

Le protocole de NAGOYA, relatif à la convention sur la diversité biologique, prévoit un contrat de partage des avantages (APA). Son objectif est de lutter contre la biopiraterie, c'est-à-dire l'appropriation illégale des ressources génétiques en vue d'en tirer des avantages économiques. Son application est encore floue dans le lien ressources génétiques (enzymes ou microorganismes) et produit final, ce qui peut être un frein au développement de cette solution. D'autre part, les processus de validation pour la chimie du végétal peuvent également être un frein au développement de la solution compte tenu de la durée de validation pour certains produits.

La recherche dans ce domaine est importante et constitue un levier clé du développement de la solution.

Cependant, il est difficile pour les PME de travailler avec des organismes tels que les pôles de compétitivité qui ne travaillent pas à la même vitesse et qui peuvent avoir des enjeux différents. Les projets portant sur ce sujet mettent parfois trop de temps à aboutir pour des entreprises de petites tailles qui nécessitent d'avoir des résultats sur le court terme.

Le consortium TWB, Toulouse White Biotechnology, est constitué de 46 partenaires privés et publics au 1^{er} janvier 2018. TWB s'attache à relever les défis climatiques, alimentaires et énergétiques du XXI^{ème} siècle. Considérant que les produits biosourcés et les catalyseurs biologiques sont des réponses possibles à ces enjeux, TWB apporte des réponses aux industriels, entrepreneurs en biotechnologie et chercheurs en les accompagnants pour développer de nouvelles filières biologiques, alternatives aux filières conventionnelles. Ce consortium est un levier clé permettant de faire le lien entre la recherche académique et l'industrie.

La **dynamique des Fonds unique interministériel** est un levier pour le développement de projet autour des biotechnologies. Cependant les dossiers pour prétendre à ce type de programme peuvent être lourds à monter et être un frein pour certaines PME.

La diffusion se fait par du bouche à oreille. Une fois que les industriels en entendent parler, ils sont généralement intéressés car ils ont eu des échos d'acteurs qu'ils connaissent bien. Néanmoins, **la diffusion de la connaissance** de la solution est lente car il n'y a pas d'actions de communication globales.

Il y a eu de nombreux échecs dans le domaine des enzymes dans l'industrie du papier-carton vers 2007. Les industriels du secteur ont toujours cela à l'esprit ce qui freine le développement de la solution. Les industriels concernés par ces échecs n'ont pas souhaité communiquer sur le sujet.

Nanocellulose

La solution consiste en l'utilisation de nanostructure de cellulose pour des applications diverses : résistance mécanique, émulsion et dispersion pour peinture, additifs alimentaires, cosmétique...

Dans le domaine technique, le développement de nouvelles enzymes ⁵⁸ permettant la production de nanocellulose est un levier pour la diffusion de cette solution.

La disponibilité de la matière première est également un levier ou un frein pour les industriels du secteur.

Les applications des nanocelluloses en tant que matériau sont multiples et sont des leviers pour le développement de la solution. Outre les applications militaires (gilets pare-balles, vitres blindées, etc.), les nanocelluloses peuvent trouver des débouchés dans :

- Le papier et les emballages (propriétés mécaniques et chimiques)
- L'alimentation (propriétés rhéologiques)
- L'hygiène (Safebox, boîte en carton antibactérien, utilisée en hôpital)

⁵⁸ Les endoglucanases (ou β -1,4-endoglucanases), qui hydrolysent au hasard les liaisons glucosidiques internes d'une chaîne dans les zones amorphes, créant ainsi de nouvelles chaînes de longueur variable de même que de nouvelles extrémités de chaînes. Les exoglucanases qui hydrolysent les chaînes pour libérer du glucose à partir d'une extrémité réductrice (glucanohydrolase) ou du cellobiose (dimère de glucose) à partir d'une extrémité non réductrice (cellobiohydrolase) ; Les cellobiases (ou β -glucosidases) qui hydrolysent le cellobiose en glucose.

- Le domaine médical (produits pharmaceutiques, prothèses, pansements, filtres, etc.)
- Les composants électroniques (condensateurs, batteries, etc.)
- Et d'autres domaines (impression 3D, matériaux composites etc.)

En termes économiques, la capacité des entreprises à produire en local permet de réduire les coûts liés au transport.

Le coût de la production notamment le **coût énergétique** de la nanocellulose reste un **frein à l'adoption** de cette solution. Les retours d'expérience sur la mise en place de ce type de solution ne permettent pas d'estimer ces coûts.

Le **marché potentiel cible** n'est **pas encore bien identifié** et ne permet pas aux industriels de se projeter. C'est un frein économique au développement de la solution.

Dans l'écosystème, les synergies avec la chimie du végétal constituent un levier de développement de la nanocellulose. Néanmoins elle peut mettre en compétition les industriels céréaliers et les industriels de la filière du bois sur la production de matière biosourcée comme alternative aux produits biosourcés.

Dans le domaine normatif, la réglementation visant la réduction des produits plastiques et incitant le développement de produits biosourcés dits « plastic like » sont des leviers pour le développement de la nanocellulose.

Cependant, les risques liés au recours à la nanocellulose n'ont pas été clairement identifiés. D'autre part, le terme nanocellulose n'étant pas clairement défini et normalisé, il est difficile pour les acteurs du marché de parler un langage commun. La **mise en place d'une norme** pourrait permettre de **faciliter le développement de la solution**.

Les brevets du Centre Technique du Papier constituent des leviers pour la mise en œuvre de la nanocellulose par des papetiers français. Les nombreux travaux de recherche réalisés en France par les organismes de recherche peuvent être un levier pour l'industrie française **grâce à un lien entre la recherche et les industries**.

Cependant, il n'y a pas encore eu de première vague importante d'industrialisation de la production de nanocellulose. Les acteurs industriels attendent donc des retours d'expérience sur la production et le potentiel marché qui s'offre à eux.

Les synergies entre les différentes parties prenantes ne permettent pas d'avoir un développement optimal de cette solution en France.

Il y a une **méconnaissance de la solution** mis à part au sein du secteur du papier. Les autres industries qui pourraient être intéressées par ce type de produit n'ont pas suffisamment de connaissance sur le sujet ce qui représente un frein pour le développement de la nanocellulose.

Pour cette solution, cette condition de développement n'a pas fait émerger de freins ou de leviers particuliers.

Valorisation des coproduits issus de la production de pâte à papier

Cette solution correspond à l'utilisation de la valeur ajoutée des coproduits issus de la production de pâte à papier.

D'un point de vue technique, la lignine est l'un des coproduits accessibles de la production de pâte à papier. Néanmoins les voies de valorisation autre qu'énergétique sont marginales aujourd'hui (production de vanilline, etc.).

D'autre part, tant qu'il restera faible, le prix du pétrole sera un frein au développement des alternatives pour la production d'énergie ou de produits biosourcés.

L'extraction du biphenol est un frein technique au développement de cette solution.

Le montant des CAPEX liés au développement de la solution est un frein majeur car il est de l'ordre de plusieurs centaines de millions d'euros.

La consommation du bois pour le chauffage domestique a récemment augmenté pour atteindre 8 millions de foyers aujourd'hui. Le prix du bois augmente et limite ainsi l'intérêt économique à l'utiliser pour autre chose que de la production de chaleur.

Les constructions d'usines de type bioraffineries en Finlande positionnent les industriels du pays en tant que leader du marché ce qui peut être un frein au développement de la solution par des industriels français étant donnée la **position dominante des finlandais sur le marché**. De plus, les centres de décisions des grands groupes papetiers n'étant pas situés en France, les investissements se font généralement dans les pays où se trouvent les sièges de ces industriels. La France a également perdu un nombre important d'usines de production de pâte à papier qui sont les sites candidats à la transformation en bioraffineries.

De plus, sur la production de la biomasse, les papetiers sont en concurrence avec les céréaliers. **Les relations entre les secteurs industriels** cherchant à produire de la biomasse ne permettent pas **l'identification de synergies** qui pourraient constituer un levier pour le développement de la solution. À titre d'exemple, les acteurs de la filière du bois et plus spécifiquement du papier-carton ne font pas pleinement intégrés à la chimie du végétal principalement composée d'acteurs de la chimie et de l'agroalimentaire.

La filière bois et papier-carton n'est pas intégrée ce qui ne permet pas d'optimiser la gestion du parc forestier en lien avec la consommation nécessaire à la production. Plus globalement, une exploitation perfectible de la filière bois est constatée en France.

Cela constitue un double enjeu économique et lié à l'écosystème.

Concernant la réglementation sur le développement de biocarburants de deuxième génération tels que l'éthanol d'origine lignocellulosique permet le double comptage⁵⁹. C'est-à-dire que la part énergétique de biocarburants produits dans une unité à partir de matières premières est comptée double pour le calcul de la part d'énergies renouvelables incorporée dans le cadre du montant de la taxe générale sur les activités polluantes. Ce double comptage est un levier pour le développement de la solution. La réglementation en vigueur présente un avantage financier pour les bioraffineries à produire des biocarburants.

Concernant la connaissance de la solution et les croyances qui y sont liées, les centres de décision de la plupart des papetiers implantés en France sont à l'étranger pour la plupart ce qui est un frein au développement de ce type de solution en France.

La culture industrielle française n'est pas propice à des investissements aussi importants. À titre d'exemple, un grand papetier finlandais a préféré choisir l'Allemagne pour le développement d'une bioraffinerie pilote plutôt que la France. L'un des arguments est le déficit de culture industrielle en France par rapport à l'Allemagne.

⁵⁹ Double comptage: fait de compter la contribution à la réalisation de l'objectif en matière d'utilisation d'énergie provenant de sources renouvelables dans toutes les formes de transport, apportée par les biocarburants produits à partir de déchets, de résidus et de matières cellulosiques d'origine non alimentaire, comme équivalant à deux fois le contenu énergétique de ces biocarburants.

Feuille de route Industrie du Futur

Développer une feuille de route propre à chaque industriel

L'ensemble des solutions précédemment citées répond à des enjeux propres à chaque industriel ; leur conception et mise en œuvre dépendent aussi du contexte propre à chaque industriel. C'est pourquoi, se doter d'une feuille de route Industrie du Futur est une condition de développement indispensable au déploiement des solutions.

Le baromètre EY sur l'Industrie du Futur réalisé en 2016 et 2017 auprès d'un panel représentatif d'acteurs industriels en France a permis de constater qu'il y avait une prise de conscience de la part des dirigeants d'entreprise sur le besoin de se doter d'une feuille de route afin de pouvoir appréhender le sujet dans sa globalité et non solution par solution. En effet, en 2017, un industriel sur deux a formalisé sa feuille de route Industrie du Futur ou est en cours de formalisation contre un sur trois en 2016.

Le développement d'une feuille de route Industrie du Futur passe par l'établissement d'un état des lieux reflétant la maturité d'un site ou d'une groupe industriel au regard de critères liés à des prérequis techniques ou culturels.

Ensuite, le cadrage de cette feuille de route doit se faire par une démarche d'identification des solutions technologiques pertinentes par rapport à la fois aux enjeux et au niveau de maturité du site.

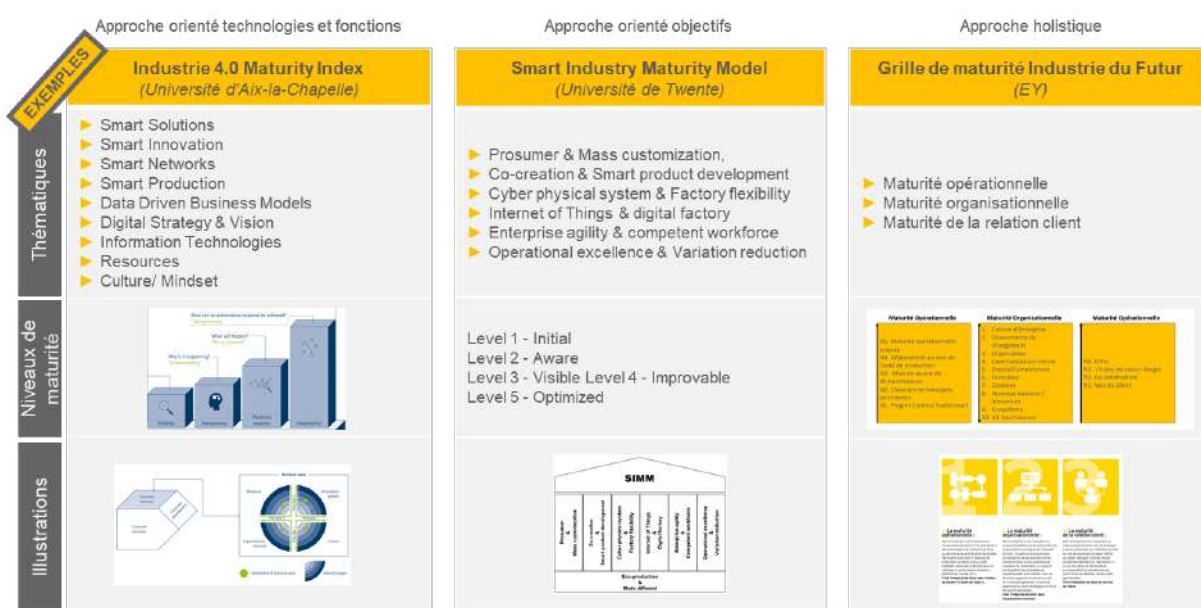
Réflexion sur la maturité des sites industriels

France Chimie, en collaboration avec les magazines Usine Nouvelle et InfoChimie magazine a organisé en 2017 une grande enquête sur la transformation digitale dans l'industrie chimique (232 dirigeants ou managers de l'industrie chimique ont participé à l'étude) : plus de 40% des dirigeants considèrent que la méconnaissance des apports du numérique est un frein à la transformation industrie 4.0. C'est la raison pour laquelle, il est nécessaire, pour les entreprises des deux secteurs, d'avoir une vision lucide de leur maturité au regard des solutions proposées pour définir celles qui sont les plus adaptées à leurs enjeux et pour quels gains.

Au regard de l'hétérogénéité des niveaux de maturité des industriels des deux secteurs dans le domaine de l'Industrie du Futur, il est impossible d'appliquer une feuille de route standard pour toutes les entreprises. D'autre part, les solutions à mettre en œuvre dépendent des enjeux spécifiques de chaque entreprise. Il est néanmoins possible de distinguer des niveaux de maturité opérationnelle. Pour jauger cette dernière, il est nécessaire d'évaluer le niveau d'appropriation et de déploiement des technologies de l'Industrie du Futur au service de la performance industrielle. Ce niveau de maturité touche aussi bien à l'appareil de production qu'aux outils mobilisés autour de ce dernier pour en optimiser la performance.

Le livre blanc d'EY, « Croire en l'Industrie du Futur et au futur de l'industrie », décrit par exemple cinq niveaux de maturité opérationnelle. D'autres systèmes d'évaluation de la maturité (cf. illustration ci-dessous) existent.

Figure 19 : Exemple de systèmes d'évaluation de la maturité 4.0



Source : Université d'Aix-la-Chapelle, Université de Twente, EY

L'échelle de maturité permet d'évaluer le niveau d'avancement de l'organisation dans les domaines techniques, réseaux d'information, culture, niveau de flexibilité, ... Les référentiels de maturité existants peuvent avoir des approches différentes (par technologies, fonctions, objectifs, etc.). Cependant, Il existe des points communs notamment sur les thématiques culture, organisation et compétences.

L'échelle de maturité permet aussi de structurer la feuille de route en fixant les grands jalons pour un site ou un groupe industriel. Les solutions types identifiées pour atteindre le plus grand niveau de maturité opérationnelle sont des solutions qui constituent le socle de base permettant d'améliorer la maîtrise des procédés et d'aller plus loin dans l'amélioration continue : l'analytics industriel, le MES et l'IIoT, la simulation numérique, l'automatisation des activités logistiques et l'IoT lié au produit. Ces gains sont de plusieurs natures ; par exemple, il peut s'agir de gérer automatiquement un parc de produits chez son client, d'une réduction des temps de mise au bon par analyse des paramètres de réglage, de gains sur le rendement matière par optimisation de la quantité de réactifs utilisés grâce à des algorithmes, ou de gains sur le temps de formation des opérateurs et des techniciens grâce à la réalité virtuelle ou encore de gains de productivité, sécurité et qualité par l'automatisation du convoyage de bobines dans le papier.

La démarche d'établissement d'une feuille de route Industrie du Futur

Une démarche efficace d'établissement de feuille Industrie du Futur doit, selon notre expérience, s'appuyer sur trois dimensions importantes :

- **Être tirée par les enjeux industriels et la démonstration de valeur** : c'est l'identification des enjeux industriels, les sources de pertes les plus importantes qui vont donner les domaines à creuser en termes de solutions Industrie du Futur. Des démonstrateurs peuvent être rapidement réalisés, en particulier pour les solutions numériques afin de faire la preuve de la valeur apportée par une solution.
- **Définir les fondations qui permettent de supporter les solutions à implémenter** : ces fondations incluent en particulier l'architecture informatique et informatique industrielle, tenant compte des contraintes de cyber sécurité, pour supporter les solutions numériques ainsi que les compétences nécessaires à mobiliser.
- **Créer une culture et une communauté Industrie du Futur pour accélérer la transformation** : c'est par l'implication du plus grand nombre de collaborateurs dans les projets Industrie du Futur que se fera la conduite du changement. Identifier une équipe cœur d'ambassadeurs « Industrie du Futur » dans les différentes parties de l'organisation va également aider à la diffusion.

Ce qu'il faut retenir

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des freins et des leviers détaillés précédemment.

Tableau 20 : Synthèse des freins et des leviers identifiés

Solution	Freins	Leviers
1. Techniques	- Ancienneté des équipements industriels - Disponibilité de la donnée - Niveau d'automatisation minimum (infrastructure SI minimale) - Cybersécurité	- Mise en place de capteurs pour compenser (soft sensor et ou micro CPU) - Analyse de la cybersécurité en amont des projets
2. Organisation et compétences	- Manque de compétence en gestion de la donnée et en cybersécurité - Manque de compétences en biochimie et intensification des procédés - Organisation Lean ne permettant pas de mener ce type de projet - Acceptabilité sociale	- Formation des salariés - Embauche de personnes formées - Adaptation des formations initiale et continue pour répondre aux besoins des entreprises - Accompagnement des salariés, conduite du changement et implication des ressources humaines
3. Économiques et financiers	- Investissement important pour certaines solutions - Méconnaissance des coûts réels - Évaluation des gains potentiels difficile	- Développement d'un outil mutualisé accessible à plusieurs acteurs d'une filière
4. Écosystèmes	- Pas ou peu d'écosystèmes constitués dans les deux secteurs de l'étude	- Réflexion sur la constitution d'écosystèmes pour les deux secteurs
5. Réglementation et normalisation	- ATEX - Pas ou peu de normes ou de réglementations contraignantes pour les solutions identifiées	- Sécurité des installations
6. Transfert technologique entre la recherche académique et l'industrie	- Manque de données industrielles pour complexifier les algorithmes et optimiser le traitement de la donnée	- Partage des données de production avec les établissements de recherche
7. Connaissance de la solution	- Méconnaissance de la plupart des solutions par les dirigeants et les salariés des entreprises des deux secteurs	- Partage d'information au sein d'organismes existants - Mise en place de plateforme de démonstration pour acculturer et diffuser les solutions Industrie du Futur
8. Culture et croyances	- Croyance liée à la cybersécurité - Générationnel et attractivité de l'industrie pour les jeunes	- Diffusion des technologies de base grâce à des plateformes de démonstration - Communication auprès des jeunes sur le sujet

En conclusion de cette analyse des conditions de développement permettant la mise en place des solutions Industrie du Futur identifiées dans le cadre de l'étude, les freins majeurs identifiés sont :

- Méconnaissance des solutions,
- Compétences et offres de formation inadaptées pour l'intégration et l'utilisation d'un certain nombre de solution,
- Manque de positionnement différenciant de la France,
- Peu ou pas d'acteurs nationaux pour investir dans les solutions à très fort CAPEX.

SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC

L'état des lieux de l'Industrie du Futur pour les secteurs de la chimie et du papier-carton a permis d'identifier 32 solutions pertinentes pour les industriels. Ces solutions répondent aux enjeux identifiés comme pertinents pour les acteurs des deux secteurs et permettent soutenir la compétitivité des entreprises. Une analyse détaillée des solutions et une évaluation de celle-ci selon 10 critères a permis de retenir 12 solutions opérationnelles.

Dans un premier temps, une comparaison internationale de quatre pays pour chaque secteur a été réalisée. Pour chaque pays, le marché de la chimie et/ou du papier-carton a été analysé notamment à travers les programmes nationaux sur l'Industrie du Futur et les grands groupes industriels des deux secteurs. Le constat principal de cette comparaison internationale est **l'absence d'orientation stratégique de la France** sur les solutions Industrie du Futur pour les deux secteurs. Ni les pouvoirs publics, ni les grands groupes français n'ont décidé de s'engager dans une différenciation, qu'elle soit technologique avec un déploiement massif d'une solution numérique ou qu'elle soit de procédés ou de produits avec un investissement conséquent pour développer de nouvelles offres.

Dans un second temps, une analyse des effets économiques, organisationnels, compétences, management et sur la chaîne de valeur a permis de compléter ce premier constat sur l'international. Globalement les effets économiques sont positifs pour la quasi-totalité des solutions. Ils permettent de répondre à l'ensemble des **enjeux de la performance industrielle**, c'est-à-dire la productivité main-d'œuvre, le rendement matière, la consommation énergétique, la maintenance et la maîtrise des procédés. Cependant, certaines nécessitent des **investissements très importants difficiles** à porter pour la plupart des industriels. Du point de vue des compétences, la **nécessité de former les salariés** pour porter des projets de déploiement de solutions Industrie du Futur est essentielle. L'organisation et le management évoluent avec la mise en place de ces solutions. Les opportunités notamment dans la conception, la communication et l'échange d'information permettent de transformer les processus internes des entreprises pour donner une **plus grande agilité aux organisations**. En revanche, la relation client est en train d'évoluer, notamment à travers de nouveaux usages ou la **constitution d'écosystèmes**. Cette évolution peut menacer les entreprises des deux secteurs et elles doivent se prémunir de l'arrivée de nouveaux acteurs qui viendraient capter une part de la valeur produite par les industriels. Enfin, de nouveaux procédés ou produits peuvent avoir des effets importants sur les secteurs de l'étude grâce à une **différenciation** permettant de développer de nouveaux marchés.

Dans un troisième temps, l'étude des conditions de développement de chaque solution a permis de réaliser une synthèse transverse des freins et des leviers. Le **frein essentiel** et commun à l'ensemble des solutions est le **manque de connaissance** de la part des acteurs des deux secteurs sur le sujet, aussi bien de la part des dirigeants que des salariés. Pour faire évoluer cette situation, la **mise en place de sessions de sensibilisation** grâce à la communication, à la formation, à la découverte de sites en avance et la mise en place de plateformes de démonstrations des solutions Industrie du Futur, doit permettre de diffuser largement ce sujet auprès des industriels. D'autre part, l'un des freins principaux porte sur le **manque de compétences** en gestion de la donnée, cybersécurité, biochimie et intensification des procédés. Pour lever ce frein, une **évolution des formations initiales et continues** et la mise en place de plateformes de démonstration est nécessaires pour accompagner les entreprises. Le frein financier lié à des **montants d'investissements trop conséquents** pour être supportés par un seul acteur nécessite le **développement de solutions mutualisables** pour donner aux acteurs français la capacité à rester dans la course. Enfin un effort porté par l'ensemble des acteurs des secteurs doit être réalisé pour **attirer des investissements étrangers** et mettre en avant la capacité des industriels à mener à bien des projets différenciants et porteurs d'avenir.

PRÉCONISATIONS POUR METTRE EN ŒUVRE LES SOLUTIONS PRIVILÉGIÉES

Quatre axes de préconisations pour les acteurs des deux secteurs

Le diagnostic de la situation actuelle met en avant quatre types de freins limitant le déploiement des solutions Industrie du Futur.

- Méconnaissance des solutions,
- Compétences et offres de formation inadaptées pour l'intégration et l'utilisation d'un certain nombre de solution,
- Manque de positionnement différenciant de la France,
- Peu ou pas d'acteurs nationaux pour investir dans les solutions à très fort CAPEX.

Les préconisations qui suivent visent à lever ces freins. Elles sont formulées à l'attention des pouvoirs publics, des pôles de compétitivité et des fédérations et entreprises des secteurs de la chimie et du papier-carton. Elles s'appuient sur une série de fiche action décrivant pour chacune l'axe de préconisation retenu, les principaux acteurs concernés, le niveau de priorité, l'échéancier de mise en œuvre, l'objectif et les raisons qui motivent la recommandation, ses modalités de mise en œuvre ainsi que des remarques et points de vigilance.

Les préconisations reposent sur quatre axes distincts :

1. Les solutions transverses porteuses de gains de productivité pour les entreprises des deux secteurs,
2. Le développement de solutions mutualisables,
3. Les ressources humaines, l'organisation et les compétences,
4. Une différenciation sur la chaîne de valeur par la chimie du végétal et l'intensification des procédés.

Un premier axe de solutions concerne celles que nous considérons comme des briques de base transverses aux deux secteurs et valables pour des PME comme pour des grands groupes. L'enjeu est ici de maximiser le niveau de diffusion auprès des PME des deux secteurs. Les préconisations liées à ces **solutions porteuses de gains de productivité** dépendent du niveau de maturité de l'industriel concerné. Plusieurs niveaux de maturité ont été constatés lors des entretiens réalisés dans le cadre de l'étude. Des audits ciblés doivent permettre de définir la feuille de route adaptée à chaque situation de site ou d'entreprise. Des freins liés à la méconnaissance de plusieurs solutions transverses identifiées dans ce rapport sont à lever.

Le second axe porte sur **les solutions mutualisables** qui ne peuvent pas être accessibles par des acteurs individuels. Les plateformes collaboratives et plus précisément les marketplaces offrent des perspectives intéressantes au regard des cas d'applications constatées dans d'autres industries. Néanmoins, afin de donner du sens à ces outils, une logique d'écosystème par sous marché semble pertinente. Actuellement, aucun acteur ne se lance faute d'expérience et de crainte de ne pas atteindre de taille critique permettant de peser sur le marché. La mutualisation des compétences algorithmiques et des puissances de calcul permettrait, quant à elle, de mettre la simulation de formulation à la portée d'un grand nombre d'industriels de la chimie. En effet, le frein principal au déploiement de cette solution est le niveau d'investissement élevé et l'accès aux compétences.

Mutualisation – quelques repères

La mutualisation dans la recherche existe dans les deux secteurs *via* les pôles de compétitivité. Pour aller plus loin dans la mutualisation d'activités opérationnelles, les sujets de gouvernance, de partage des investissements, des coûts et des bénéfices, de confidentialité se posent.

Des secteurs avec tête de filière ont pu s'organiser comme dans la filière aéronautique ont pu s'organiser pour partager des espaces projets, des données techniques et des données logistiques avec une gouvernance organisée entre grands acteurs.

Dans des environnements en concurrence directe, nous pouvons citer l'exemple intéressant de l'étude menée par ECR France (Association des industriels/distributeurs et prestataires logistiques). Un travail collaboratif a été mené entre les acteurs de la grande distribution, de l'industrie agro-alimentaire et des prestataires logistiques ou de services pour réaliser une étude d'un nouveau modèle de distribution appelé « ultra-mutualisation ».

Les gains en transport et en stocks très importants grâce à la mise en place d'une dizaine d'entrepôts régionaux partagés multi-distributeurs et multi-industriels sur le territoire français permettant de distribuer une ou plusieurs catégories de produits sur l'intégralité des points de ventes de la grande distribution.

Pour les grandes entreprises capables d'optimiser leur flux, l'intérêt peut porter sur certaines catégories de produits, et a contrario pour les PME et TPE, leur intérêt est dans la possibilité de déployer leurs produits au niveau national à coût abordable.

La gestion des flux et des entrepôts communs peut être réalisée par un GIE jouant le rôle de tiers de confiance.

Ce type de modèle reposant sur un tiers de confiance peut faciliter le passage à des opérations mutualisées ; les fédérations peuvent avoir un rôle d'impulsion important pour favoriser le passage à l'action et travailler sur les blocages culturels potentiels.

Les **ressources humaines, l'organisation et les compétences** constituent le troisième axe identifié. Nous avons vu que disciplines s'interconnectent de plus en plus entre chimie, biologie et numérique ou même entre les disciplines traditionnelles de la chimie ou du papier. Il convient de décloisonner l'organisation des formations techniques et d'ouvrir plus largement celles-ci aux nouvelles technologies. Les solutions Industrie du Futur génèrent pour la plupart des quantités de données importantes nécessitant de développer des compétences en **gestion de la donnée**. Cette compétence est essentielle pour les industriels afin d'exploiter au mieux les opportunités offertes par l'Industrie du Futur. La double compétence **chimie et biologie/biotechnologie** est également essentielle pour une plus grande adoption des biotechnologies blanches ou du traitement des biomasses. L'enseignement en tronc commun des formations initiales de chimie et de **l'intensification des procédés** permettrait également une plus grande diffusion de ceux-ci. D'autre part, les **nouveaux modes de management** tendent vers des modes plus collaboratifs. L'implication et l'innovation des employés sont favorisées par ces transformations. Enfin, dans le prolongement du management collaboratif, les organisations des entreprises se doivent d'être plus agiles afin de favoriser les synergies entre les services. Ce qui nécessite une impulsion de la part des dirigeants.

L'un des principaux constats concernant la France, à l'issue du travail de comparaison internationale, est son absence de positionnement différenciant sur des secteurs d'avenir, contrairement à certains pays comme la Finlande ou le Japon, qui ont pris de vraies orientations industrielles stratégiques à l'échelle du pays. Ainsi, un dernier axe sur **la différenciation sur la chaîne de valeur par le développement de la chimie du végétal et l'intensification des procédés** permettra de considérer les opportunités pour les acteurs des deux secteurs, en particulier dans le développement d'une chimie plus verte (*via* la biocatalyse, les biotechnologies et l'analyse du potentiel dans les bioraffineries) et dans les domaines de l'intensification des procédés et de la nanocellulose.

Huit fiches actions, présentées dans le tableau suivant, ont ainsi été rédigées :

Tableau 21 : Préconisations sur l'Industrie du Futur pour les secteurs de la chimie et du papier-carton

Axe	Préconisations
1 - Solutions transverses porteuses de gains de productivité pour les entreprises des deux secteurs	1 - Sensibiliser le plus large nombre de dirigeants d'entreprise aux nouvelles technologies et à leurs impacts organisationnels 2 - Soutenir le plus grand nombre d'entreprises des deux secteurs dans le déploiement des solutions de base Industrie du Futur leur permettant de rester compétitives
2 - RH, compétences, organisation	3 - Développer les cursus de formation initiale et de formation continue pour les compétences nécessaires au développement de l'Industrie du Futur : la gestion de la donnée, la biochimie, les biotechnologies et l'intensification de procédés
3 - Développement de solutions mutualisables	4 - Repenser la segmentation du marché en fonction du client final et se doter de marketplaces 5 - Rendre accessible la simulation de formulation au plus grand nombre d'industriel de la chimie
4 - Différentiation sur la chaîne de valeur	6 - Affirmer le positionnement de la France sur la chimie du végétal 7 – Développer l'intensification des procédés pour rester dans la course 8 - Développer une nouvelle filière autour de la nanocellulose

Les douze solutions identifiées et présentées dans ce rapport se retrouvent de la manière suivante dans les recommandations proposées.

Tableau 22 : Correspondance entre les solutions de l'étude et les fiches actions proposées

Solution	1. Sensibilisation des dirigeants	2. Briques de base	3. Formation Industrie du Futur	4. Segmentation marché et marketplace	5. Accessibilité simulation de formulation	6. Position France chimie du végétal	7. Dév. Intensification procédés	8. Dév nanocellulose
Analytics industriel	X	X	X					
MES et IIoT	X	X	X					
Simulation numérique	X	X	X					
Automatisation des activités logistiques	X	X	X					
Intensification des procédés	X		X				X	
Simulation de formulation	X		X		X			
IoT lié au produit	X	X	X					
Plateforme collaborative	X		X	X				
Marketplace	X		X	X				
Biotechnologies blanches	X		X			X		
Nanocellulose	X		X					X
Valorisation des coproduits	X		X			X		

Recommandations

Solutions transverses porteuses de gains de productivité pour les entreprises des deux secteurs

1. Sensibiliser le plus grand nombre de dirigeants d'entreprise aux nouvelles technologies et à leurs impacts organisationnels

➤ <u>Axe de préconisation</u>	➤ <u>Principaux acteurs concernés</u>
Ressources humaines, organisation et compétences	TPE et PME
➤ <u>Niveau de priorité</u>	➤ <u>Échéancier de mise en œuvre</u>
Élevé	2019
➤ <u>Porteur de projet potentiel</u>	
<ul style="list-style-type: none">▪ Copacel et Fédérations régionales France Chimie	
➤ <u>Financement estimé</u>	
<ul style="list-style-type: none">▪ 100 k€ pour la réalisation des modules⁶⁰▪ 1 M€ pour l'animation des modules pour sensibiliser 50% des dirigeants des sites industriels des deux secteurs⁶¹	
➤ <u>Pourquoi cette recommandation</u>	
<p>Le constat principal du diagnostic réalisé dans cette étude est la méconnaissance des solutions Industrie du Futur et des effets qu'elles peuvent avoir sur la compétitivité des entreprises. Ces effets peuvent être de nature économique, organisationnelle, en compétences et sur la chaîne de valeur. Leurs mises en œuvre nécessitent un investissement de la part des dirigeants pour impulser une dynamique nouvelle chez les industriels des deux secteurs.</p> <p>Cette dynamique peut porter sur une amélioration de la performance industrielle et répondre à des enjeux tels que la maîtrise des procédés, la maintenance ou encore la productivité main-d'œuvre.</p> <p>La recherche de position différenciante sur la chaîne de valeur grâce à de nouveaux procédés tels que l'intensification des procédés ou les biotechnologies blanches est également une orientation possible de la dynamique à impulser par les dirigeants. Ces nouvelles technologies permettent de créer de nouveaux avantages concurrentiels. Il convient de discerner les solutions les plus pertinentes pour un dirigeant par rapport à son business mais aussi d'identifier les évolutions culturelles et managériales induites par ces transformations technologiques.</p> <p>Enfin, les transformations de modes de relation client grâce à des plateformes collaboratives ou des <i>marketplaces</i> nécessitent de repenser les interactions avec les acteurs amont et aval de la chaîne de valeur d'un industriel.</p>	
➤ <u>Objectif de la recommandation</u>	
<p>L'objectif de cette recommandation est de donner la capacité aux dirigeants des entreprises des deux secteurs de transformer leur organisation, d'adapter les modes de management et de prendre des décisions stratégiques pour donner l'impulsion dans les transformations industrielles à mener en lien avec les solutions Industrie du Futur.</p>	

⁶⁰ Évaluation fondé sur la réalisation de trois modules de formation pour environ 20 jh de travail chacun (un module organisation et deux modules techniques par secteur).

⁶¹ Fondé sur la formation de 3 000 dirigeants des deux secteurs soit environ 600 jh de formation.

➤ *Modalités de mise en œuvre*

Nous proposons cinq actions pour former les dirigeants aux transformations de l'Industrie du Futur :

- La visite d'entreprises vitrines *via* le label « vitrine Industrie du Futur » de l'Alliance Industrie du Futur – actuellement, seulement deux usines du secteur chimie (Air Liquide et Arkema) sont labellisées. La mise en avant d'autres usines de la chimie et du papier-carton, permettraient, grâce à ce label, de réaliser des visites adaptées pour les dirigeants des deux secteurs. Ces visites pourront être réalisées sous l'impulsion des unités régionales des fédérations.
- La participation à des événements intersectoriels, à l'initiative de l'Alliance Industrie du Futur, permettrait aux industriels de la chimie et du papier-carton de rencontrer d'autres industriels confrontés à des transformations structurantes, et avec qui ils pourraient échanger et capitaliser sur les enseignements qu'ils ont pu en tirer. Ces visites pourront être réalisées sous l'impulsion des unités régionales des fédérations.
- L'utilisation de plateformes de démonstration dans les territoires avec un module *ad hoc* destiné aux dirigeants et expliquant les principales technologies adaptées aux deux secteurs, et les problématiques et enjeux auxquels elles répondent. Dans un premier temps, cette action s'appuierait sur une première plateforme pilote.
- Un module de formation portant sur la transformation digitale dans l'industrie – sur les aspects stratégie, organisation et management - pourrait être développé en format court, sur une journée, type APM (Association Progrès du Management). Ces formations pourraient être organisées par les fédérations afin de former les dirigeants d'entreprise au pilotage de ce type de transformation.
- Le déploiement au niveau régional, avec l'appui des établissements régionaux de Bpifrance, des filières professionnelles et des pôles de compétitivité, du Centre Technique du Papier (CTP), d'accélérateurs « Industrie du Futur », du même type que ce qui a été fait un niveau national, si nécessaire en adaptant le contenu en fonction du potentiel industriel de la région.

La réalisation de ces modules destinés aux dirigeants pourrait s'appuyer sur des modules de formation existants comme ceux qui sont proposés à Arts & Métiers Paris Tech. Nous pouvons estimer en première approche à 50k€ par secteur la conception de deux modules (l'un orienté technologie, l'autre orienté organisation et management). Cette conception pourrait être prise en charge par France Chimie et Copacel et les séances dispensées par des experts référencés. Ces journées de sensibilisation seront financées par les adhérents.

➤ *Remarques et points de vigilance*

L'organisation et le contenu de ces rencontres ou sessions de formation doivent être d'une grande qualité pour que les dirigeants y participant considèrent que le temps qu'ils y passent est justement investi. Mais c'est aussi la qualité de la formation qui pourra faire basculer le dirigeant sur l'intérêt et les moyens à consacrer aux nouvelles solutions.

2. Soutenir le plus grand nombre d'entreprises des deux secteurs dans le déploiement des solutions de base Industrie du Futur leur permettant de rester compétitives

➤ *Axe de préconisation*

Solutions transverses porteuses de gains de productivité

➤ *Principaux acteurs concernés*

TPE et PME
France Chimie et Copacel
Offreurs de solutions

➤ *Niveau de priorité*

Élevé

➤ *Échéancier de mise en œuvre*

Sur 2019 à 2021

➤ *Porteur de projet potentiel*

Régions

➤ *Financement estimé*

1 à 2 M€ par région⁶²

➤ *Pourquoi cette recommandation*

Parmi les solutions identifiées, l'analytics, MES et IIoT, la simulation numérique, l'automatisation des activités logistiques et l'IoT lié au produit constituent les solutions de base transverses aux deux secteurs et applicables à une majorité d'entreprises de la chimie et du papier-carton. Mais ces solutions ne sont pas toujours complètement connues des PME et la capacité, en compétences techniques, à mener des projets mettant en œuvre ces solutions est limitée. Il existe des besoins de cadrage, de définition de priorités, d'évaluation des coûts et bénéfices qui ne sont pas remplis.

D'autre part, toutes les solutions ne sont pas nécessairement pertinentes pour tous les industriels. Une évaluation de la maturité opérationnelle d'une entreprise doit permettre la réalisation d'une feuille de route nécessaire à la priorisation des actions à entreprendre pour donner du sens à la transformation que souhaite engager un industriel.

Enfin, il convient de préciser que la réalisation de projets Industrie du Futur et l'utilisation de ces solutions améliorent l'attractivité des entreprises auprès de professionnels qu'il peut être difficile d'attirer dans des TPE/PME et dans des territoires réputés peu attractifs.

➤ *Objectif de la recommandation*

L'objectif de cette recommandation est donc d'aider les industriels des deux secteurs à faire le choix des technologies pertinentes permettant de se mettre à niveau sur les applications digitales en identifiant les offres du marché applicables aux deux secteurs et en définissant les feuilles de route Industrie du Futur pour une part importante des entreprises des deux secteurs.

➤ *Modalités de mise en œuvre*

La première étape est d'identifier les technologies existantes. L'Alliance Industrie du Futur et les Chambres de Commerce et d'Industrie se sont associées pour promouvoir les « Offreurs de solutions Industrie du Futur ». De plus, les solutions sélectionnées dans cette étude sont susceptibles d'être pertinentes pour les industriels du secteur. Il s'agit de l'analytics industriel, du MES, de l'IIoT, de la simulation numérique, l'automatisation des activités logistiques et l'IoT lié au produit qui constituent les technologies de base.

⁶² Fondé sur la base d'un audit moyen de cinq jours homme de consultant pour environ 1 500 entreprises réparties sur les régions.

Les fédérations peuvent accompagner les industriels ayant besoin d'être familiers avec les technologies existantes. Cette action est principalement à destination des TPE et PME étant donné que la quasi-totalité des grands groupes des deux secteurs ont déjà des feuilles de route pour l'Industrie du Futur.

- Une première étape consiste à recenser des offreurs de solutions adaptés à des TPE/PME. Cette action peut être prise en charge par un groupe de travail commun France Chimie et Copacel.
- Une deuxième étape consiste à créer un dispositif avec les Régions en partenariat avec les unités régionales des fédérations afin de cartographier, sur une base régionale, sous forme d'un questionnaire simple le niveau de maturité sur les quatre solutions de base identifiées.
- Une troisième étape consiste à sélectionner des consultants permettant d'établir les feuilles de routes quantifiées après une analyse ciblée par entreprise désireuse de se lancer dans les technologies digitales industrielles. Cette sélection sera réalisée par les Régions et les unités régionales des fédérations.

Nous proposons qu'un abondement soit pris en charge par les Régions afin d'aider au financement de ces feuilles de routes. Les besoins en conseil ne sont pas équivalents par Région.

En première approche pour viser 50 % des sites des deux secteurs, sur la base d'un audit moyen de 5 jour homme de consultant, le montant à mobiliser est de 1 à 2 M€ par région.

Un objectif en proportion de sites équipés de chacune des quatre solutions peut ainsi être défini et suivi au niveau de chaque Région par les Régions et unités régionales des fédérations.

➤ *Remarques et points de vigilance*

Le manque de ressources parmi les entreprises (humaines ou financières), une résistance au changement trop forte ou le manque d'ouverture des organisations quant aux nouveaux modes de travail fondés en partie sur l'analyse de données, et pas uniquement sur l'expérience, peuvent être bloquants pour déployer ces solutions.

Le dispositif proposé étant régional, son déploiement peut être hétérogène.

Ressources humaines, organisation et compétences

3. Développer les cursus de formation initiale et de formation continue pour les compétences nécessaires au développement de l'Industrie du Futur

<p>➤ <u>Axe de préconisation</u></p>	<p>➤ <u>Principaux acteurs concernés</u></p>
Ressources humaines, organisation et compétences	Régions Universités/Écoles Pôles de compétitivité France Chimie, Copacel Industriels Offreurs de solutions
<p>➤ <u>Niveau de priorité</u></p>	<p>➤ <u>Échéancier de mise en œuvre</u></p>
Élevé	2019
<p>➤ <u>Porteur de projet potentiel</u></p>	
Régions	
<p>➤ <u>Financement estimé</u></p>	
1 M€ par plateforme démonstration ⁶³	
<p>➤ <u>Pourquoi cette recommandation</u></p>	
<p>L'analyse des conditions de développement pour la mise en œuvre des solutions Industrie du Futur a permis de mettre en avant la nécessité pour les industriels de disposer de salariés ayant des compétences dans la gestion de la donnée. Au-delà de l'appropriation de cette compétence, il est nécessaire de la contextualiser en fonction des domaines d'intervention du salarié au sein de l'entreprise. Par exemple, les domaines de la maintenance, de l'ingénierie process ou de la logistique sont spécialement concernés. L'ensemble des technologies Industrie du Futur telles que l'analytics industriel, l'internet des objets, la réalité augmentée, la maquette numérique ou le jumeau numérique, génèrent une quantité de données importantes (big data) que les spécialistes métiers doivent pouvoir analyser pour prendre des décisions et agir en conséquence.</p> <p>La méconnaissance des solutions et le manque de formations adéquates sur les sujets d'Industrie du Futur nécessitent de former les salariés des entreprises des deux secteurs. Ces formations ont vocation à doter les industriels de personnes capables de mener des projets sur le sujet grâce à une connaissance des technologies.</p> <p>De plus, les biotechnologies industrielles, qui s'appuient sur la biologie, sont de plus en plus utilisées au sein de l'industrie chimique. Elles permettent d'obtenir des rendements supérieurs à des réactions chimiques pures et de réaliser ces réactions dans des environnements plus économes énergétiquement. Elles sont aussi sources de solutions pour la gestion environnementale des sites comme pour certains marchés porteurs (biocontrôle, etc.). Cependant, les personnes disposant de compétences dans ces domaines, chimie et biologie/biotechnologies, manquent au sein de l'industrie. Le développement de cursus proposant cette double formation est nécessaire afin de pallier cette lacune.</p> <p>Enfin, des domaines, comme l'intensification de procédés, sont encore peu exploités par, notamment, manque de connaissances et compétences.</p>	

⁶³ Fondé sur l'expérience EY de montage de plateforme Industrie du Futur/chiffre confirmé par l'Institut Montaigne dans son étude « Industrie du Futur, prêts, partez ! »

➤ Objectif de la recommandation

Cette recommandation vise à s'assurer que les établissements de formation initiale diplôment suffisamment de personnes compétentes dans les métiers clés des deux secteurs, en particulier dans le numérique. En outre, elle a pour objectif de mettre en place des structures et des programmes au sein des entreprises ou des établissements de formation continue permettant d'apporter cette compétence aux salariés déjà dans l'industrie.

Enfin, la formation à la biochimie, aux biotechnologies industrielles et à l'intensification des procédés doit faire partie des cursus proposés dans les universités et les écoles d'ingénieurs pour répondre aux besoins des industriels dans ces domaines.

➤ Modalités de mise en œuvre

En lien avec le CNI Numérique et la DGEFP, les fédérations professionnelles devront se rapprocher des organismes formateurs afin d'exprimer leur besoin en formation initiale. Il est essentiel de renforcer la compétence en gestion de la donnée des automaticiens, ingénieurs en procédé chimique, responsables de production, conducteurs d'installations, techniciens, logisticiens pour l'industrie de la chimie et du papier-carton.

La mise en place de formations certifiantes par les fédérations est également un moyen de répondre à l'objectif souhaité à l'instar de ce qu'a mis en place le pôle formation de l'UIMM PACA avec les bachelors Industrie du Futur. L'EDEC (Engagement de Déploiement Emploi et Compétences) signé par la branche chimie et la DGEFP a déjà intégré cet objectif.

Les formations en cybersécurité destinées à sécuriser les environnements numériques des nouvelles technologies sont également essentielles à intégrer dans les formations initiales et dans les formations de remise à niveau ou d'initiation aux nouvelles technologies Industrie du Futur, notamment pour les automaticiens.

Le développement de la biochimie, et son intégration systématiquement dans le cursus de base des ingénieurs issus des écoles de Chimie, est nécessaire pour assurer le développement du biosourcé en France.

Nous proposons dans un premier temps de mener des actions au niveau régional, avec une région pilote, avant une démultiplication plus large au niveau national. Certaines délégations régionales France Chimie ayant signé un ADEC (Accord Déploiement Emploi et Compétences) en région pourraient être candidates à ce déploiement.

Un groupe de travail rassemblant Universités, Écoles, unités régionales des Fédérations professionnelles, industriels des deux secteurs et offreurs de solutions permettra de lister les organismes visés et de faire les recommandations nécessaires pour adapter les programmes de formation établis. La création d'un label peut être pertinente pour qualifier les formations, s'assurer de la qualité de la formation sur des critères de pédagogie et de mise en pratique.

Afin de pouvoir se former de manière pratique, une plateforme de démonstration pourra être installée sur le territoire de la Région pilote pour la chimie afin de servir de démonstrateurs pour des sensibilisations mais aussi pour des formations plus longues (formation initiale ou continue). Une plateforme type est constituée d'un process simple chimie ou papier (mini-machine, microréacteur,...) équipée de logistique automatisée et de systèmes d'informations industriels (ERP/MES/SCADA), capteurs, outils de simulation...permettant des mises en situation par métier (production, ingénierie process, maintenance, logistique).

Pour le papier-carton, le CTP (Centre Technique du Papier) dispose d'installations industrielles pilotes ; celles-ci pourront être utilisées pour y déployer des solutions numériques.

Nous proposons le cadre régional pour financer et réaliser ce type de plateforme en lien avec les pôles de compétitivité et/ou les universités et écoles chimie et/ou papier-carton. Une plateforme nécessite le support d'un personnel sachant, c'est pourquoi elle peut être hébergée dans un pôle de compétitivité ou dans des centres de formation et/ou de recherche existants (IRT, Écoles, Universités).

Nous pouvons évaluer en première approche à 1 M€ un coût de développement et de réalisation par plateforme. Le financement peut être réalisé par le fonds européen de développement régional (FEDER) de manière à redynamiser des territoires, ou directement par les Régions.

➤ *Remarques et points de vigilance*

Les formations aux nouvelles compétences Industrie du Futur sont indispensables à la réussite de la transformation de l'industrie française vers l'Industrie du Futur. Sans l'acquisition de ces compétences, les ingénieurs, les techniciens et les opérateurs des industries de la chimie et du papier-carton ne seront pas à même de s'approprier ces nouvelles technologies et de les diffuser largement pour réaliser les gains de productivité souhaités. Mais le risque est d'avoir un déficit de formateurs pour intégrer ces nouvelles technologies dans les cursus de formations. Une ouverture plus grande des postes de formateurs aux cadres et techniciens de l'industrie pourrait y remédier.

Développement de solutions mutualisables

4. Repenser la segmentation du marché en fonction du client final et se doter de marketplaces

➤ Axe de préconisation

Développement de solutions mutualisables – pour la chimie

➤ Principaux acteurs concernés

France Chimie
BPI

➤ Niveau de priorité

Élevé

➤ Échéancier de mise en œuvre

2019

➤ Porteur de projet potentiel

France Chimie

➤ Financement estimé ou ressource potentielle

Ressources France Chimie

➤ Pourquoi cette recommandation

L'analyse des effets liés au déploiement des solutions Industrie du Futur a permis de constater que les solutions telles que la plateforme collaborative ou la marketplace peuvent transformer une chaîne de valeur notamment par la constitution d'écosystèmes au sein d'un secteur. Ils doivent permettre aux industriels impliqués de favoriser les échanges entre les acteurs, d'améliorer leur offre grâce à une meilleure connaissance de leurs clients et potentiellement d'augmenter leur part de marché. Pour bénéficier de ces transformations sectorielles à venir, les industriels ont besoin d'engager une réflexion afin d'identifier et de constituer des écosystèmes pertinents et de se doter de plateformes telles que des marketplaces.

L'absence de compétences propres au développement de marketplaces au sein des entreprises des deux secteurs et les questions stratégiques d'alliance constituent les principaux freins de cette solution. Il est en particulier nécessaire d'atteindre une taille critique pour peser sur le marché et devenir une plateforme de référence pour un écosystème donné. Il y a une prime aux premiers et il n'existe actuellement pas de marketplace leader dans la chimie.

➤ Objectif de la recommandation

L'objectif de cette recommandation est d'inciter les industriels à repenser leur stratégie dans une logique d'écosystèmes afin de renforcer le positionnement au sein de la chaîne de valeur et de se prémunir des offensives commerciales d'acteurs externes. La matérialisation de cette recommandation est l'analyse de l'opportunité de création de marketplaces orientées marchés.

➤ Modalités de mise en œuvre

L'industrie chimique est définie par des grands secteurs : chimie minérale, chimie organique, entretien et détergents, chimie fine et chimie de spécialités. Ces secteurs se situent en amont d'écosystèmes tournés vers le consommateur final. Les industriels fournissent des produits de base pour les industriels des écosystèmes aval.

En première étape, afin d'identifier les écosystèmes pertinents pour les secteurs de la chimie, la création d'un groupe de travail rassemblant des représentants des industriels et piloté par France Chimie est recommandée. En fonction des tendances du marché, des évolutions actuelles et d'études prospectives, les industriels accompagnés par leur fédération doivent chercher à se positionner dans cet environnement commercial transformé par le numérique.

En deuxième étape, une fois les écosystèmes pertinents identifiés, Il faudra définir deux ou trois écosystèmes tests pour lesquels des spécifications de marketplace seront bâties. Le pilotage de ces spécifications peut être organisé par France Chimie.

Plus tard, un appel à projets, piloté par France Chimie, pourra être réalisé afin de créer les marketplaces *ad hoc* permettant de fédérer les offres au marché pour les industriels souhaitant adhérer. Cet appel à projets peut être véhiculé par un PIAVE (Projets industriels d'avenir) du 3^{ème} volet du Programme d'Investissements d'Avenir.

Un socle technique commun pourra être développé dans ce cadre ; des partitions par écosystèmes pourront être réalisées sur la base de cette plateforme commune – afin de mutualiser les fonctionnalités développées.

Une entité administrée par plusieurs industriels pour un écosystème donné, à l'instar de ce qui a été réalisé dans l'industrie aéronautique, pourra être créée afin de porter cette solution.

L'industrie papetière est définie par des grands secteurs : emballage, impression, hygiène, spécialités. Mais il existe des initiatives françaises de marketplace sur la partie emballage et impression.

➤ *Remarques et points de vigilance*

Ce type de démarche nécessite une implication forte de la part des industriels et une remise à plat des concepts traditionnellement acceptés. La coopération peut être longue à établir entre des industriels d'un même écosystème.

5. Rendre accessible la simulation de formulation au plus grand nombre d'industriels de la chimie

➤ <u>Axe de préconisation</u>	➤ <u>Principaux acteurs concernés</u>
Développement de solutions mutualisables – pour la chimie	Pôles de compétitivité chimie Industriels de la chimie
➤ <u>Niveau de priorité</u>	➤ <u>Échéancier de mise en œuvre</u>
Élevé	2019
➤ <u>Porteur de projet potentiel</u>	
Pôle de compétitivité	
➤ <u>Financement estimé</u>	
1 M€ pour la rédaction du cahier des charges et lancement ⁶⁴ 2 à 4 M€ pour une première structure ⁶⁵	
➤ <u>Pourquoi cette recommandation</u>	
<p>La simulation de formulation permet un gain important de temps de développement et permet d'adapter au mieux une formulation par rapport à un besoin client. Elle peut aussi être transposable facilement à la conception de produits, en liant les caractéristiques de celui-ci aux matières premières, aux conditions de production ou au mode d'utilisation chez le client.</p> <p>Le domaine est en cours de développement parmi les gros industriels de la chimie allemande. Ce type de simulation peut nécessiter le recours à des ordinateurs de simulation quantique, demandant de grande puissances de calcul et représentant des investissements chiffrés en millions d'euros.</p> <p>Cette technologie est actuellement inaccessible à la plupart des entreprises françaises de la chimie. Une mutualisation d'investissement avec accès à de la puissance de calcul et de l'aide à l'utilisation logicielle permettrait cet accès et éviterait à la France d'être distancée sur cette technologie.</p> <p>Une autre solution peut reposer sur l'utilisation de systèmes d'intelligence artificielle, intégrant les dimensions cognitives aussi bien que les calculs sur données massives. Une même mutualisation est utilisable aussi pour les systèmes cognitifs.</p> <p>Ce type de mutualisation existe déjà pour des applications dans le nucléaire et la défense avec le CCRT (Centre de Calcul Recherche et Technologie du CEA) en mettant à disposition de ses membres industriels de la puissance de calcul et les ressources pouvant opérer.</p>	
➤ <u>Objectif de la recommandation</u>	
L'objectif de cette recommandation est <ul style="list-style-type: none">- de construire le cahier des charges permettant de construire un dispositif mutualisant de la puissance de calcul et des compétences afin de permettre l'accès à la simulation de formulation pour la plupart des entreprises françaises de la chimie.- De lancer une première expérimentation mutualisée, par dans le cadre d'un pôle de compétitivité	

⁶⁴ Évaluation fondée sur l'élaboration du cahier des charges technique et organisationnel (environ 400 k€) et sur une première maquette (environ 600 k€).

⁶⁵ Évaluation fondée sur l'achat d'une puissance de calcul et de développement ad hoc.

➤ *Modalités de mise en œuvre*

La création d'un groupe de travail pourra permettre de définir le cahier des charges permettant de spécifier à la fois les besoins métiers, les compétences et l'organisation, le niveau de performance, les modalités d'accès et de confidentialité pour chaque entreprise, le type de support et le mode de financement, à la fois de l'investissement et de l'utilisation.

Ce groupe de travail pourra rassembler des industriels, des pôles de compétitivité, des universités et des écoles de chimie. Des pôles, tels Axelera, mènent déjà des réflexions sur les sujets d'Intelligence Artificielle appliquée à la chimie. Un pôle pourra prendre le pilotage de cette action.

Nous pouvons estimer la réalisation de ce Cahier des Charges à 1 M€. Il pourrait être issu de l'enveloppe de près de 400 M€ dévolue à des « appels à projet et de défis d'innovation de rupture » du Plan Intelligence Artificielle (IA). Un centre de calcul existant tel le CCRT peut dans un premier temps héberger une activité de recherche pour travailler sur l'adaptation des algorithmes de simulation et aider à la rédaction du cahier des charges.

À terme, un tel dispositif, hébergé et organisé autour d'un pôle de compétitivité, peut être mis à disposition de l'ensemble des entreprises françaises du secteur. Il est aussi extensible aux filières travaillant en aval de la chimie.

➤ *Remarques et points de vigilance*

Une telle démarche doit être accompagnée par un acteur neutre pilote garantissant l'indépendance entre les industriels, à l'instar d'un pôle de compétitivité.

Cet acteur pourra aussi gérer l'appel d'offre demandant aux fournisseurs potentiels leur proposition en vue de l'implémentation du premier système.

Il pourra aussi accompagner le consortium jusqu'à la livraison d'une première maquette de système mutualisé.

Différentiation sur la chaîne de valeur

6. Affirmer le positionnement de la France sur la chimie du végétal

➤ <u>Axe de préconisation</u>	➤ <u>Principaux acteurs concernés</u>
Chaîne de valeur et nouveaux produits	CNI et CSF Bois, Chimie et Matériaux, Alimentaire BPI
➤ <u>Niveau de priorité</u>	➤ <u>Échéancier de mise en œuvre</u>
Élevé	2019 - 2021
➤ <u>Porteur de projet potentiel</u>	
France Chimie et Copacel (biocatalyse et fermentation)/CTP	
➤ <u>Financement estimé ou ressource potentielle</u>	
Ressources mises à disposition par les fédérations	
➤ <u>Pourquoi cette recommandation</u>	
<p>Le tissu industriel français dans ce domaine d'activité est reconnu et établi et dispose d'un fort potentiel de développement en raison de l'excellence des savoir-faire français dans le domaine.</p> <p>La France dispose d'un atout majeur dans le domaine des matières premières végétales (cultures et forêts) et également de l'expérience du CTP (Centre Technique du Papier) et de l'Institut technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement) dans ce domaine.</p> <p>Les aspirations sociétales et la prise de conscience des problématiques environnementales vont pousser à l'utilisation croissante de produits éco-conçus et renouvelables.</p> <p>La prise de conscience d'une vision plus globale du traitement de la biomasse existe, à l'instar de la mission lancée sur la Bio Économie non Alimentaire entre les CSF chimie, bois et alimentaire, à l'initiative de l'ACDV, dans le cadre du contrat de filière Chimie-Matériaux.</p> <p>Le potentiel lié à la biomasse bois est en grande partie inexploité au contraire de pays nordiques comme la Finlande qui ont investi lourdement dans la bioraffinerie.</p> <p>Le potentiel d'utilisation des biotechnologies industrielles, notamment les procédés fermentaires (solvants eutectiques profonds – DES) et la catalyse enzymatique, est encore largement non exploité et est facteur de différenciation, de réduction de coûts d'énergie et matières ainsi que d'amélioration pour l'environnement.</p>	
➤ <u>Objectif de la recommandation</u>	
L'objectif de cette recommandation est d'étudier les conditions de développement des produits biosourcés et de favoriser deux tendances d'avenir : l'utilisation de la biomasse bois et l'utilisation des biotechnologies industrielles (fermentation, catalyse enzymatique, solvants eutectiques profonds - DES).	

➤ *Modalités de mise en œuvre*

Nous proposons deux démarches à mener en parallèle sur deux horizons différents :

Une démarche à court terme qui vise à favoriser le développement de deux solutions :

- Une plus grande utilisation de la catalyse enzymatique, de la fermentation et des solvants à point eutectique profond (DES) par une communication réalisée par France Chimie, Copacel et le CTP mettant en avant des succès dans l'utilisation des biotechnologies blanches par des industriels ; un label « produit biosourcé » (précisant notamment le taux de biosources utilisées dans le produit) pourrait permettre de favoriser l'adoption des produits biosourcés, dont les procédés mettent souvent en œuvre la biocatalyse ou la fermentation.
- Développer l'installation de bioraffineries sur des sites français d'ici un horizon de trois ans. Un groupe de travail rassemblerait les CSF Bois, Alimentaire, Chimie & Matériaux et Bpifrance afin d'identifier les conditions favorisant l'installation de bioraffineries en France. Les conditions d'attractivité pour des investissements se chiffrant, sur ce type de projet, en plusieurs dizaines voire centaines de millions d'euros, seront définies. Un retour d'expérience sur les cas précédents qu'ils aient été ou non couronnés de succès (ex : cas du projet non abouti de l'ex usine de UPM Stracel, candidate avancée pour l'installation d'une bioraffinerie : mais aussi les 3 projets SPI financés par Bpifrance en chimie biosourcée), pourra être réalisé. Une identification des groupes industriels pouvant investir sur ce type d'équipement sera réalisée afin d'identifier le potentiel économique, dans un contexte où la stratégie européenne parie sur un doublement du nombre de bioraffineries en Europe d'ici 2030.

Une démarche de long terme qui vise à mobiliser le CNI avec les CSF Chimie et Matériaux, et si possible les CSF Bois Alimentaire afin de réaliser une étude prospective sur le biosourcing. Cette étude aurait pour objectif de définir les marchés sur lesquels il est nécessaire de développer les produits biosourcés, d'identifier les freins à éliminer et les conditions de succès du développement de cette filière. Elle est dans la ligne de l'action « chimie du végétal » du CSF Chimie-matériaux, conduite par l'ACDV. Une telle action doit être soutenue pour pouvoir définir rapidement les projets structurants qui soutiendront le développement de la chimie du végétal et, de façon plus générale, de la bioéconomie non alimentaire.

➤ *Remarques et points de vigilance*

Le groupe de travail bioraffinerie devra démarrer ses travaux au plus vite afin de capturer rapidement l'information des projets potentiels, qui au vu des niveaux d'investissements nécessaires demeure limitée.

7. Développer l'intensification des procédés pour rester dans la course

<p>➤ <u>Axe de préconisation</u></p>	<p>➤ <u>Principaux acteurs concernés</u></p>
<p>Chaîne de valeur et nouveaux produits</p>	<p>ETI, Grands Groupes, Pôles de compétitivité BPI</p>
<p>➤ <u>Niveau de priorité</u></p>	<p>➤ <u>Échéancier de mise en œuvre</u></p>
<p>Moyen</p>	<p>2019 - 2021</p>
<p>➤ <u>Porteur de projet potentiel</u></p>	
<p>Pôle de compétitivité</p>	
<p>➤ <u>Financement estimé</u></p>	
<p>10 M€ pour soutenir des projets industriels (PIAVE)⁶⁶</p>	
<p>➤ <u>Pourquoi cette recommandation</u></p>	
<p>Les méso-réacteurs sont plus économes en ressources que les réactions classiques en batch et l'utilisation de biomasse sur des procédés intensifs se développe. Leur encombrement, leur capacité à réduire les risques industriels et leur besoin en CAPEX plus faible que les installations classiques en font un facteur de réindustrialisation des territoires.</p> <p>Le niveau d'adoption reste limité en grande partie aux laboratoires en France avec peu d'applications industrielles ; cela est en partie lié à une connaissance limitée de cette solution.</p> <p>Sur cette technologie, la France risque un retard technologique par rapport à la Chine, l'Allemagne et le Japon.</p>	
<p>➤ <u>Objectif de la recommandation</u></p>	
<p>L'objectif de cette recommandation est d'orienter des investissements industriels sur cette solution pour de nouvelles réactions ou installations.</p>	
<p>➤ <u>Modalités de mise en œuvre</u></p>	
<p>Nous proposons de soutenir des projets visant à développer des installations de type méso-réacteurs pour traiter de nouvelles réactions <i>via</i> appel à projets. Le pilotage de cette action pourra être confié à un pôle de compétitivité.</p> <p>Cet appel à projets pourrait être véhiculé par un PIAVE (Projets industriels d'avenir) du 3^{ème} volet du Programme d'Investissements d'Avenir pour un montant de 10 M€. Ce montant permettrait de soutenir une dizaine de projets.</p> <p>Ce type de projets pourrait être couplé avec un dispositif de suramortissement afin de faciliter l'amorçage de ces installations.</p> <p>Ces projets pourraient faciliter également l'acquisition du label « vitrine Industrie du Futur » de l'Alliance Industrie du Futur. Ceci permettrait d'avoir des pilotes sur lesquels France Chimie pourrait communiquer (retour d'expérience sur les gains ou nouvelles possibilités de produits).</p>	
<p>➤ <u>Remarques et points de vigilance</u></p>	
<p>Il faudra veiller à ce que ces projets fassent l'objet de communications afin de favoriser le déploiement de la solution.</p>	

⁶⁶ Évaluation fondée sur une dizaine de projets entre 500 k€ et 1 M€ (étude d'opportunité, développement et implémentation de la solution).

8. Développer une nouvelle filière autour de la nanocellulose

<p>➤ <i>Axe de préconisation</i></p>	<p>➤ <i>Principaux acteurs concernés</i></p>
<p>Chaîne de valeur et nouveaux produits</p>	<p>ETI, Grands Groupes, Copacel, CTP BPI</p>
<p>➤ <i>Niveau de priorité</i></p>	<p>➤ <i>Échéancier de mise en œuvre</i></p>
<p>Moyen</p>	<p>2019 à 2021</p>
<p>➤ <i>Porteur de projet potentiel</i></p>	
<p>Copacel et CTP</p>	
<p>➤ <i>Financement estimé</i></p>	
<p>50 M€ pour une usine pilote (dont 25 M€ PIAVE)⁶⁷ 10 M€ pour cas d'application (PIAVE)⁶⁸ Mobilisation pour construction de contenus de formation</p>	
<p>➤ <i>Pourquoi cette recommandation</i></p>	
<p>La nanocellulose est un nouveau marché dont la croissance prévue est supérieure à 30% par an d'ici 2021 avec des applications multi sectorielles.</p> <p>Peu de pays ont commencé à développer l'industrialisation de cette nouvelle matière (Finlande, Suède, Norvège, Canada, Japon).</p> <p>Des compétences reconnues existent en France sur la nanocellulose, en particulier au sein du Centre Technique du Papier.</p> <p>Il est encore temps de se positionner sur ce marché qui peut offrir un rebond à la filière papetière française, à l'instar des décisions stratégiques prises par les principaux groupes japonais du secteur papetier.</p> <p>En revanche, la France ne dispose plus de grands groupes papetiers capables d'investir dans cette technologie ; les sites français appartenant à de grands groupes ont leurs centres de décision à l'étranger. Il convient de rendre attractif la France pour accueillir une première unité de production de nanocellulose. Le procédé étant actuellement énergivore, le coût de l'énergie en France peut être l'un de ces facteurs d'attractivité.</p>	
<p>➤ <i>Objectif de la recommandation</i></p>	
<p>L'objectif de cette recommandation est de flécher des investissements industriels sur ce nouveau produit et cette nouvelle technologie de production. Ce fléchage des investissements s'adresse aux grands groupes papetiers qui ont la capacité d'investir – dont les groupes papetiers étrangers – en rendant la France attractive pour la production et l'utilisation de ce nouveau produit.</p>	

⁶⁷ Fondé sur les coûts d'installation des usines pilotes Japon et Canada.

⁶⁸ Enveloppe pour mener une dizaine de projets de développement d'applications avec de la nanocellulose dans plusieurs secteurs.

➤ *Modalités de mise en œuvre*

Trois types de mesure peuvent être pris pour faciliter l'attractivité de la France sur la nanocellulose :

- Un appel à projets piloté par Copacel et le CTP, véhiculé par un PIAVE (Projets industriels d'avenir) du 3ème volet du Programme d'Investissements d'Avenir pour un montant de 25 M€ afin d'aider à la construction d'une usine pilote d'un coût total d'environ 50 M€. Ce type de projet peut être couplé avec un dispositif de suramortissement afin de faciliter l'amorçage de ces installations.
- Des appels à projets pilotés par Copacel, auprès des industriels utilisateurs (cosmétique, chimie, matériaux de construction, automobile,...) pour un montant de 10 M€ afin de faciliter les études de développement de nouveaux produits utilisant de la nanocellulose.
- Des formations, pilotées par Copacel, dédiées au process de production de la nanocellulose et aux propriétés particulières de ce produit en formation continue et formation initiale pourront être montées avec le support du CTP et avec un label Copacel permettant de s'assurer de la qualité de ces formations. L'objectif est d'offrir un environnement favorable en termes de compétences disponibles.

Dans le cadre Horizon 2020, un complément financier pourrait être fourni par un fond Européen, à l'instar de Bio-based Industries (BBI) Joint Undertaking (JU).

➤ *Remarques et points de vigilance*

Il faudra veiller à ce que l'usine pilote puisse être évolutive pour s'adapter à la croissance du marché et à ce qu'un retour d'expérience puisse être réalisé pour une diffusion plus large de la technologie. Un accord de Propriété Industrielle devra être défini dans ce sens.

ANNEXES

Glossaire

AGV (Automatic guided vehicle) ou véhicule à guidage automatique (VGA) : robot qui se déplace de façon autonome sans intervention humaine. Les technologies d'automatisation traditionnelles sont le filoguidage, le laserguidage et l'optoguidage. Cependant, d'autres technologies aussi performantes existent telles que le géoguidage et le guidage par ultrason.

Blockchain : registre réparti et sécurisé, accessible à tous, contenant des informations qui ne peuvent plus être altérées une fois qu'elles sont inscrites. Cette technologie garantit techniquement la traçabilité, l'opposabilité et l'audibilité des données, et crée ainsi une chaîne de confiance.

Déverminage : processus de diagnostic, de localisation, d'élimination des erreurs et d'amélioration lors de l'installation d'un nouvel équipement industriel – qu'il s'agisse des équipements physiques comme des équipements de pilotage.

Écosystème : Coalition hétérogène d'entreprises relevant de secteurs différents et formant une communauté stratégique d'intérêts ou de valeurs structurée en réseau.

ERP (Enterprise Resource Planning) ou également appelé PGI (Progiciel de Gestion Intégré) : système d'information qui permet de gérer et suivre au quotidien, l'ensemble des informations et des services opérationnels d'une entreprise

Goulot : Le goulot d'étranglement, qu'on appelle aussi « ressource goulot », est défini par l'étape de production qui a la plus faible cadence dans un flux de production et qui détermine la cadence globale du process.

Méthode Agile : approche itérative et collaborative, capable de prendre en compte les besoins initiaux du client et ceux liés aux évolutions. La méthode Agile se base sur un cycle de développement qui porte le client au centre du projet. Il est impliqué pendant toute la réalisation du projet. Cette méthode vise à accélérer le développement d'un projet (initialement un logiciel).

Rendement matière : en chimie, le rendement désigne le rapport entre la quantité de produit obtenue et la quantité maximale qui serait obtenue si la réaction était totale ; dans l'industrie papetière, le rendement désigne le rapport entre la quantité de matière introduite dans le process et la quantité de produit fini bon obtenu en fin de process.

TRS : Le taux de rendement synthétique (ou TRS) est un indicateur destiné à suivre le taux d'utilisation de machines. Il est défini par la formule : $TRS = \text{Production réelle} / \text{production maximum théorique}$. Le TRS décompose et met en évidence les pertes de production en différentes catégories.

Personnes consultées dans le cadre de l'étude

Gilles BAJUL	Celodev
Jean-Luc BEAL	Bostik
Luc BENOIT-CATTIN	Arkema
Catherine BEUDON	France Chimie
Pascal BOULON	Université de Lyon – Disrupt Campus
Jean-Yves BOURGUIGNON	Norske Skog Golbey
Simon CENA	Allimand
Mathias CESCOUSSE	Rayonier AM
Guy CHEMISKY	CONDAT
Benjamin COGNET	Siemens
Catherine de COLBERT	Cartonnerie OUDIN
Alain COMTE	UPM
Antonio DIAS	Sterimed
Stéphane DECHELOTTE	Prosim
Luc DECLERCK	Cognistreamer
Luc DEHON	Groupe DEHON
Olivier DELABROY	Air Liquide
Christophe DORIN	WEPA
Sébastien DUMON	BA Systèmes
Marc FROMAGER	Schneider Electric
Séverin FISCHER	BNP Paribas
Christian GIRARD	Chimie Paris Tech
Frédéric GUILLET	Centre Technique du Papier
Laurent LAPORTE	Braincube
Arnaud LASSERRE	DGEFP
Cédric LEDOUX	France Chimie
Frédéric LESCURE	SOCOMORE
Pierre LUZEAU	Novacap
Vincent MASZTALERZ	Siemens
Christophe MENANTEAU	Région Auvergne Rhône Alpes – Campus numérique
Laurie MIQUEL	FFLY4U
Éric MONCHALIN	Siemens
François MONNET	Association chimie du végétal
Véronique MORIN	Centre Technique du Papier
Thomas OTHAX	Packitoo
Aymeline PERRIN	RDM Group
Jean-Claude PIERROT	Norske Skog Golbey
Gérard PIGNAULT	CPE Lyon
Alain PINCHARD	Chimex (L'Oréal)

Lydia PRUM	International Paper
Christophe ROGER	Solvay Novecare
Didier SCHNEIDER	PCAS
Philippe SEVOZ	Glatfelter Scaer
Davy SOYSOUVANH	Centre Technique du Papier
Alessandra VIZZA	Corning
Daniel WEIZMANN	VWR

Index des illustrations

Cas industriel 1 : Acquisition d'Airgas par Air Liquide.....	67
Cas industriel 2 : Analytics industriel chez BASF à Ludwigshafen	78
Cas industriel 3 : Analytics industriel chez Braincube pour les industriels de la chimie et du papier - carton	79
Cas industriel 4 : Jumeau numérique chez Solvay et Butachimie à Challampé	83
Cas industriel 5 : Projet AGV chez Norske Skog à Golbey	86
Cas industriel 6 : Projet AGV chez SAPPI à Maastricht	87
Cas industriel 7 : Méso-réacteur Corning chez Angelini Pharma à Appria en Italie	89
Cas industriel 8 : Super ordinateur quantique Qurious de HP chez BASF	90
Figure 1 : Schéma de la démarche appliquée.....	12
Figure 2 : Prévisions mondiales des ventes de produits chimiques.....	13
Figure 3 : Perspectives globales de production des produits chimiques par segment.....	14
Figure 4 : Prévision mondiale de production de papier et carton.....	15
Figure 5 : Perspectives globales de production de papier et carton par segment.....	15
Figure 6 : Aperçu du marché Français des filières de la chimie par rapport au marché mondial.....	16
Figure 7 : Aperçu du marché Français des filières du papier-carton par rapport au marché mondial	16
Figure 8 : Récapitulatif des enjeux identifiés	26
Figure 9 : Positionnement des solutions identifiées en fonction de leur maturité et des gains potentiels	48
Figure 10 : Investissements annoncées dans l'industrie chimique aux États-Unis	57
Figure 11 : Gains atteignables grâce à la maintenance prévisionnelle en % d'arrêts et en heures d'arrêts	77
Figure 12 : Solutions de guidage pour AGV.....	84
Figure 13 : Présentation des différentes étapes d'intégration de méso-réacteur d'un laboratoire à une production industrielle.....	88
Figure 14 : Vue d'ensemble d'une architecture IoT	92
Figure 15 : Schéma présentant le principe de la plateforme numérique Air Supply de Boost Aerospace.....	95
Figure 16 : Chaîne de valeur simplifiée actuelle	98
Figure 17 : Scénario pessimiste d'évolution de la chaîne de valeur (point de vue industriel)	98
Figure 18 : Présentation des niveaux des effets des solutions.....	104
Figure 19 : Exemple de systèmes d'évaluation de la maturité 4.0.....	128
Tableau 1 : Définition des critères de sélection	46
Tableau 2 : Définitions des 12 solutions opérationnelles retenues.....	49
Tableau 3 : Correspondance entre les catégories d'enjeux et les solutions opérationnelles	51
Tableau 4 : Analytics industriel - Évaluation du niveau de déploiement.....	62
Tableau 5 : MES et IIoT - Évaluation du niveau de déploiement	64
Tableau 6 : Simulation numérique – Évaluation du niveau de déploiement.....	64
Tableau 7 : Automatisation des activités logistiques – Évaluation du niveau de déploiement	65
Tableau 8 : Intensification des procédés – Évaluation du niveau de déploiement	66
Tableau 9 : Simulation de formulation – Évaluation du niveau de déploiement.....	67

Tableau 10 : IoT lié au produit – Évaluation du niveau de déploiement.....	67
Tableau 11 : Plateforme collaborative externe – Évaluation du niveau de déploiement	68
Tableau 12 : Marketplace – Évaluation du niveau de déploiement.....	69
Tableau 13 : Biologie de synthèse et catalyse biologique – Évaluation du niveau de déploiement	70
Tableau 14 : Nanocellulose – Évaluation du niveau de déploiement	71
Tableau 15 : Valorisation des coproduits issus de la production de pâte à papier – Évaluation du niveau de déploiement.....	71
Tableau 16 : Synthèse de l'évaluation du niveau de déploiement pour la Chimie.....	73
Tableau 17 : Synthèse de l'évaluation du niveau de déploiement pour le papier-carton.....	73
Tableau 18 : Analyse AFOM des solutions identifiées	102
Tableau 19 : Présentation des domaines de conditions de développement	114
Tableau 20 : Synthèse des freins et des leviers identifiés.....	130
Tableau 21 : Préconisations sur l'Industrie du Futur pour les secteurs de la chimie et du papier-carton	134
Tableau 22 : Correspondance entre les solutions de l'étude et les fiches actions proposées.....	134
Tableau 23 : Correspondance des solutions avec les enjeux de performance industrielle	156
Tableau 24 : Correspondance des solutions avec les enjeux de relation client.....	156
Tableau 25 : Correspondance des solutions avec les enjeux de ressources humaines.....	157
Tableau 26 : Correspondance des solutions avec les enjeux de développement durable	157
Tableau 27 : Enjeux et entretiens	158
Tableau 28 : Solutions et entretiens	159
Tableau 29 : Enjeux et solutions	160
Tableau 30 : Évaluations des solutions.....	161

Volet 1

Les tableaux de restitution qui suivent ont été rendus anonymes pour des raisons de confidentialité.

Correspondance des solutions opérationnelles identifiées au regard des enjeux du secteur

Les solutions identifiées ne répondent pas systématiquement à une seule catégorie d'enjeu. Cependant l'analyse de la correspondance avec les enjeux se fera avec une seule catégorie d'enjeu.

Le premier constat porte sur les solutions « digitales » qui répondent principalement aux enjeux de la **performance industrielle**. Le tableau ci-dessous, construit à partir des entretiens avec les industriels des deux secteurs, des offreurs de solution et des sources bibliographiques, présente ces correspondances. Certaines solutions sont des briques technologiques qui pourraient être regroupés en une seule solution composée de plusieurs cas d'usage.

Tableau 23 : Correspondance des solutions avec les enjeux de performance industrielle

Solution	Maîtrise des procédés	Maintenance	Simulation ex ante ou ex post	Productivité main-d'œuvre	Management de la chaîne logistique
1. Analytics industriel	X	X	X	X	X
2. Capteurs et internet des objets	X	X	X	X	X
3. Manufacturing Execution System	X	X			
4. Tableau de bord numérique	X	X			
5. Maintenance 4.0		X		X	
6. Maquette numérique	X				
7. Jumeau numérique	X	X	X		
8. Simulation de procédés			X	X	
9. Pilotage automatisé des installations	X	X		X	X
10. Automatisation des activités log.				X	X
11. Fabrication additive					X
12. Utilisation de drones		X		X	

Source : Analyse EY

La plateforme collaborative, la blockchain ou la marketplace sont des solutions répondant aux enjeux de la catégorie **relation client et nouvelles offres**. Elles adressent toutes le sujet du partage de l'information que ce soit dans le management de projet, pour la dimension financière ou la relation client. Les données désormais disponibles peuvent être partagés entre les acteurs de la chaîne de valeur pour optimiser les flux, offrir de la traçabilité ou plus de sécurité.

Tableau 24 : Correspondance des solutions avec les enjeux de relation client

Solution	Position sur la chaîne de valeur	Sécurité industrielle	Traçabilité
13. Plateforme collaborative externe	X		X
14. Blockchain		X	X
15. Marketplace	X	X	X

Source : Analyse EY

D'autres solutions « digitales », moins impactantes pour la production permettent de répondre aux enjeux liés aux **ressources humaines**. La montée en compétences des collaborateurs peut être permise grâce aux solutions telles que la réalité augmentée, le e-learning ou la plateforme interne collaborative. Les rondes digitales couplées avec de la réalité augmentée sont également très pertinentes pour les enjeux de performance industrielle tels que la maintenance ou la maîtrise des procédés. En effet, les techniciens ou opérateurs peuvent signaler des anomalies en temps réel lors de leur ronde et ainsi éviter qu'une situation se dégrade pendant un temps important et ait des conséquences sur la production.

Tableau 25 : Correspondance des solutions avec les enjeux de ressources humaines

Solution	Attractivité des entreprises	Montée en compétences des salariés	Fidélisation des salariés
16. E-learning		X	X
17. Réalité augmentée, virtuelle et mixte	X	X	
18. Rondes digitales		X	X
19. Chatbot			X
20. Plateforme collaborative interne	X	X	X

Source : Analyse EY

Comme présenté sur le tableau ci-dessous, un certain nombre de solutions, généralement d'innovation de procédés ou produits répondent aux enjeux de la catégorie **développement durable**. Elles permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, d'optimiser le rendement matière ou de valoriser les coproduits issus de la fabrication du papier notamment.

Tableau 26 : Correspondance des solutions avec les enjeux de développement durable

Solution	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Rendement matière première	Biosourcing des matières premières	Valorisation des coproduits	Recyclabilité et co-développement
21. Mésoréacteurs	X	X			
22. Simulation de formulation IA	X	X			
23. Biologie de synthèse et catalyse biologique	X	X			
24. Nouveaux produits biosourcés	X		X	X	X
25. Bioraffineries	X		X	X	X
26. Méthanisation	X		X	X	
27. Papier et packaging connecté					X
28. Composites à base de lignine			X		X
29. Propriétés barrières renforcées			X		X
30. Nanocellulose			X		X
31. Algues			X		X
32. Valorisation des cendres				X	

Source : Analyse EY

Tableau 27 : Enjeux et entretiens

Catégorie d'enjeu	Enjeux	Fournisseurs de solution			Industrie chimique													Industrie papetière					Autres	Total	
		Entretien 1	Entretien 2	Entretien 3	Entretien 4	Entretien 5	Entretien 6	Entretien 7	Entretien 8	Entretien 9	Entretien 10	Entretien 11	Entretien 12	Entretien 13	Entretien 14	Entretien 15	Entretien 16	Entretien 17	Entretien 18	Entretien 19	Bibliographie				
Performance industrielle	Maîtrise des procédés	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Maintenance	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Simulation ex ante ou ex post	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Productivité main d'œuvre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Relation client fournisseur	Management de la chaîne logistique																								
	Position sur la chaîne de valeur																								
	Sécurité industrielle																								
	Tracabilité																								
Ressources humaines	Attractivité des entreprises																								
	Montée en compétences des employés	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Fidélisation des employés																								
	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Développement durable	Rendement matière première	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Biosourçage de matières premières																								
	Valorisation des coproduits																								
	Recyclabilité et co-développement																								

Tableau 29 : Enjeux et solutions

N°	Solutions	Performance industrielle					Relation client fournisseur			Ressources humaines		Développement durable					
		Maîtrise des procédés	Maintenance	Simulation ex ante ou ex post	Productivité main d'œuvre	Management de la chaîne logistique	Position sur la chaîne de valeur	Sécurité industrielle	Traçabilité	Attractivité des entreprises	Montée en compétences des employés	Fidélisation des employés	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Rendement matière première	Biosourcing de matières premières	Valorisation des coproduits	Recyclabilité et co-développement
1	Analytics industriels	X	X	X	X	X											
2	Capteurs et internet des objets (IoT)	X	X	X	X	X											
3	Manufacturing Execution System	X	X														
4	Tableau de bord numérique	X	X														
5	Maintenance 4.0		X		X												
6	Maquette numérique	X															
7	Jumeau numérique	X		X													
8	Simulation de procédés			X	X												
9	Pilotage automatisé d'installations	X	X		X	X											
10	Automatisation des activités logistiques				X	X											
11	Fabrication additive					X											
12	Utilisation de drones		X		X												
13	Plateforme collaborative externe						X	X									
14	Blockchain							X	X								
15	Marketplace						X	X	X								
16	E-learning									X	X						
17	Réalité augmentée, virtuelle, mixte		X							X	X						
18	Rondes digitales	X	X							X	X						
19	Chatbot						X										
20	Plateforme collaborative interne									X	X	X					
21	Microréacteurs	X										X	X				
22	Simulation de formulation grâce à l'IA											X	X				
23	Biologie de synthèse et catalyse biologique											X	X				
24	Nouveaux produits biosourcés											X	X	X	X		
25	Bioraffinerie											X	X	X	X		
26	Méthanisation											X	X	X			
27	Papier et packaging connecté					X		X									X
28	Composite à base de lignine													X			X
29	Propriétés barrières renforcées													X			X
30	Nano cellulose													X			X
31	Algues													X			X
32	Valorisation des cendres														X		

Tableau 30 : Évaluations des solutions

N°	Solutions	Maturité de la solution	Maturité des acteurs				Indice global de la filière									
			Chimie de base	Chimie de spécialité	Papier/carton	Chimie de base2	Chimie de spécialité2	Papier/carton 4	Sans potentiel	Impact chaîne de valeur	Impact environnemental	Impact organique (tonnel)	Impact sur les compétences	Investissements nécessaires	Rapport de mise en oeuvre	
1	Analytics industriels	4	3	2	2	2	1	2	2	3	1	2	2	4	1	2
2	Capteurs et internet des objets (IoT)	4	2	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	1	1	2
3	Manufacturing Execution System	4	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3
4	Tableau de bord numérique	3	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	3	1	2	2
5	Maintenance 4.0	3	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	3	2	2	2
6	Maquette numérique	4	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
7	Lumeau numérique	4	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	3	3	3
8	Simulation de procédés	3	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	3	4	2	3
9	Pilotage automatisé d'installations	3	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	3	4	3	4
10	Automatisation des activités logistiques	4	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2
11	Fabrication additive	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2	2	2
12	Utilisation de drones	4	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Plateforme collaborative externe	4	1	1	1	2	2	2	1	2	3	1	2	3	2	3
14	Blockchain	4	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	4	2	3
15	Marketplace	4	1	1	1	2	1	2	1	1	3	1	2	2	2	3
16	E-learning	4	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2
17	Réalité augmentée, virtuelle, mixte	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3
18	Rondes digitales	4	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3
19	Chatbot	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2
20	Plateforme collaborative interne	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2
21	Matériaux	3	1	1	1	2	2	2	2	3	1	2	2	4	3	4
22	Simulation de formulation	3	1	1	1	2	2	2	1	3	1	1	3	4	3	4
23	Biologie de synthèse et catalyse biologique	3	1	1	1	2	2	2	1	3	1	2	2	4	3	4
24	Nouveaux produits biosourcés	4	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
25	Bioraffinerie	4	2	2	2	1	1	1	1	4	3	2	4	4	4	4
26	Méthanisation	4	2	2	2	1	1	1	1	4	3	2	4	4	4	4
27	Papier et packaging connecté	3	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	2	3	3	3
28	Composé à base de lignine	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	2	4	3	4
29	Propriétés barrières renforcées	3	1	1	1	1	1	1	1	4	3	2	2	3	3	4
30	Nano cellulose	2	1	1	1	1	1	1	1	4	3	2	2	4	3	4
31	Aigues	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	4	3	3
32	Valorisation des cendres	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4

Volet 2

Illustrations de démarches d'entreprises française et étrangères

Contrôle à distance d'une usine dans le secteur minier

La problématique rencontrée pour ce cas était la complexité croissante des opérations de production couplée à une digitalisation des opérations de plus en plus forte. La présence sur site d'ingénieurs hautement qualifiés était nécessaire afin de piloter ces opérations notamment : l'ingénierie, l'amélioration continue, les opérations, la maintenance, etc...

Par exemple, les entreprises rencontrent des difficultés à envoyer des ingénieurs hautement qualifiés dans des mines. Une entreprise du secteur a donc créé un IORC (intelligent operations remote control) qui permet d'opérer un contrôle d'une mine à distance depuis une ville. Dans le cas où des irrégularités sont constatées, les employés du centre de contrôle des opérations à distance prennent contact avec les employés dans la mine pour améliorer les irrégularités constatées. Ce type de centre de contrôle permet de suivre en permanence l'état de l'activité.

L'une des principales difficultés de ce projet a été la conduite du changement, principalement lié au fait que les personnes à distance disaient quoi faire aux personnes sur site. Les syndicats ont pris le sujet très à cœur. Cependant il n'y a pas eu de réduction des employés dans les mines. Il y a eu de nettes améliorations constatées par exemple, le cas d'un employé de nuit qui travaillait dans ce poste depuis plus de vingt ans et changer les réglages pour améliorer la production de son périmètre. Ce qu'il ne savait pas à ce moment-là c'est que les modifications de réglages qu'il faisait impacter toute la production de manière négative. Grâce au centre de contrôle à distance, ils ont pu s'apercevoir de cela et corriger les réglages. C'est l'une des difficultés rencontrées, faire confiance à la machine, aux algorithmes.

L'entreprise ayant mis en place cette solution s'appelle Vale et est au Brésil.

Contrôle à distance d'une partie du process papetier par un industriel de la chimie

La problématique rencontrée pour ce cas était l'utilisation de produits chimiques dans le processus de production de pâte à papier pour réduire la quantité d'eau utilisée et réduire la consommation énergétique.

Grâce à un système de contrôle de la production à distance, un industriel du secteur de la chimie, fournissant des produits chimiques pour la production de pâte, est intervenu chez un papetier pour conseiller et optimiser l'utilisation des produits chimiques lors de la partie humide du processus. L'industriel de la chimie vendait ainsi son produit au papetier et un service d'optimisation de sa consommation et se rémunérait sur les économies en eau et en énergie lors de la fabrication de la pâte. La marge dégagée par le chimiste a été de plus de 20%.

Ce type de service tend à faire évoluer la frontière des entreprises et permet de sous-traiter certaines de ces activités grâce à la digitalisation des opérations et en mettant en place un système de contrôle à distance.

Jumeau numérique d'un industriel de la chimie

En 2011, Solvay lance un projet usine virtuelle à Challampé. Le site de 125 hectares, employant 1 000 personnes et produisant 40% de la demande mondiale en « sels de Nylon » a accueilli le projet MRe (migration RS3 étendue). Ce projet a pour but de remplacer l'intégralité du système de contrôle commande. Il s'agit de l'ensemble des équipements et logiciels permettant le pilotage des différentes unités de fabrication : automates, pupitres de contrôle, capteurs et actionneurs, équipements réseau et logiciel de supervision notamment. Les exploitants du site, Solvay, Butachimie et Linde, ont prévu d'investir 12 millions d'euros sur douze ans. Grâce à ce projet, ils souhaitent moderniser l'usine pour les trente prochaines années en intégrant des technologies numériques avancées telles que le jumeau numérique. Il a été nécessaire de modéliser tout le site en trois dimensions afin de disposer d'une maquette virtuelle représentative de l'usine réelle. La première étape consiste à utiliser les plans des bâtiments et les modèles CAO des équipements qui sont dans un second temps affiné grâce à des scanners 3D et des caméras capturant l'environnement réel des machines. La maquette une fois conçue, il est nécessaire de la rendre dynamique pour qu'elle représente en permanence la situation de l'usine réelle. Pour réaliser, cela, les techniciens ont travaillé avec les équipes du fournisseur de la solution de contrôle-commande (Siemens) pour décrire les processus sous forme de diagrammes et d'y associer les données de tous les logiciels métiers (électricité, tuyauterie, automatismes, régulation) pour modéliser le comportement de chaque équipement. Ceci a permis de créer le double virtuel de l'usine qu'il a ensuite fallu connecter aux valeurs

réelles de l'usine. Simit, la technologie de jumeau numérique de Siemens, récupère et duplique toutes les cinq minutes l'intégralité de la base de données d'entrées et sorties du site. D'un point de vue sécurité des bases de données et des échanges entre elles, Solvay a appliqué les principes du « white listing ». Il s'agit de bloquer par défaut tous les accès à l'exception d'une liste de logiciels et d'équipements autorisés. Ainsi personne ne peut se connecter sans être prévu. D'autre part, la configuration des ports des pare-feu est également bloquée par défaut. Enfin des dispositifs d'identification d'agent malveillant ont été mis en place et les communications entre les contrôleurs d'automatismes et les stations de pilotage sont cryptées afin d'éviter les risques de propagation de virus. Le projet MIRE a nécessité le réaménagement de 50 locaux techniques, le remplacement de 90 consoles de conduite, le recablage de 34 000 entrées-sorties, la traduction de 3 900 vues d'écran de supervision dans le langage du nouveau système de contrôle-commande. Cependant la difficulté principale rencontrée à Chalampé est que les installations ne peuvent s'arrêter que tous les trois ans pendant trois semaines. La gestion du planning est donc cruciale pour effectuer un maximum de tâches en seulement trois semaines. De plus, étant donné qu'il s'agit d'un site à risque, aucun incident ne peut être permis pendant la migration. Grâce au jumeau numérique, les techniciens qui développent des programmes ont pu les tester et effectuer tous les débogages nécessaires pour être sûrs de déployer des logiciels qui fonctionnent du premier coup. D'autre part, le jumeau numérique fait gagner du temps car les tests peuvent être effectués en temps masqué. Toute modification sur un programme est testée au préalable sur la maquette virtuelle, ce qui permet de s'assurer que cela n'entraînera pas de bug dans un autre programme. Du point de vue de la formation, le jumeau numérique permet de la faciliter. Grâce à cette usine du futur, il est possible de simuler n'importe quel type d'événement, comme une prise d'air dans une pompe et demander à l'agent d'exploitation en formation de réagir sur un poste d'exploitation virtuel. La réalité virtuelle telle que l'outil de Siemens Comos Walkinside permet d'immerger le technicien ou opérateur en formation dans l'environnement de l'usine représenté en 3D et de pouvoir accéder aux informations de production et à la documentation des équipements. De cette manière, il peut également s'entraîner et faire appel à un expert éloigné géographiquement.

BASF : programme amélioration continue

L'objectif principal du projet OPAL 21, l'optimisation de la production à Anvers et Ludwigshafen pour le XXI^{ème} siècle, est l'introduction d'un système de production semblable pour l'ensemble des usines sur les sites Verbund à Anvers et Ludwigshafen. L'objectif est d'améliorer continuellement les processus organisationnels et techniques ; Des rôles et responsabilités clairement définis au sein de l'organisation et l'application des principes du Lean Management permettent de faire de l'amélioration continue sur les workflows et les processus et ainsi réduire les pertes lors des périodes d'inactivité. En améliorant l'expérience opérationnelle de ses sites, BASF optimise le rendement et la consommation énergétique de ses usines.

Un concept inter-service de qualification systématique assure l'attente des qualifications requises pour chaque usine. Depuis le début du projet OPAL 21, 75% des usines de Ludwigshafen et Anvers ont passé avec succès la première phase d'introduction du nouveau standard du système de production.

Curiosity de BASF, un super ordinateur quantique

BASF a investi dans un super ordinateur quantique, appelé Curiosity, avec Hewlett Packard. Le système a été livré en juin 2017. Il est utilisé par les 10 000 chercheurs du groupe et offre une puissance de calcul 10 fois supérieure au système précédent avec des possibilités de traitement de modèles beaucoup plus complexes et de variation de nombreux paramètres. Par exemple, un fongicide soluble dans l'huile a été formulé pour permettre sa dispersion dans l'eau afin que les agriculteurs puissent l'épandre dans les champs. D'une base de 23 monomères, 3 adjuvants et 10 solvants, les chercheurs de BASF avaient ainsi 104 combinaisons possibles de polymères et 100 millions de formulations possibles ; sans le recours à la puissance de l'ordinateur, le développement produit aurait pris 1000 ans.

Solutions de géolocalisation pour des travailleurs isolés

L'une des problématiques pouvant être rencontrées sur des sites étendus tels que dans l'industrie chimique est le cas des travailleurs isolés. Par exemple, lors d'opérations de maintenance dans des réservoirs chimiques, des accidents ont eu lieu entraînant la mort de plusieurs employés. Il peut s'agir de mauvaise ouverture de valves dans ces réservoirs alors qu'une opération de maintenance avait encore lieu ou un accident immobilisant un travailleur isolé sans possibilité de déclencher une alarme ou de prendre contact avec le responsable de production pour le prévenir de la situation.

Des solutions de géolocalisation des travailleurs isolés telles que celles de Motorola Solutions, hermesTRX Man Down, permet de disposer d'un système de suivi de la sûreté des travailleurs isolés. La solution donne la possibilité aux travailleurs évoluant dans des zones dangereuses de demander de l'aide en cas d'urgence et de

déclencher automatiquement une alarme de secours. La solution fonctionne en silence sur une radio portable. Lorsque l'orientation de la radio se retrouve dans une position inhabituelle, la radio émet un son de pré-alerte. Si l'orientation n'est pas corrigée, la radio enverra automatiquement une alerte comme par exemple lors d'une chute pouvant laisser un travailleur au sol et inconscient.

Industrialisation d'une production par méso-réacteur

A Apprilia en Italie, Corning a travaillé avec Angelini Pharma pour mettre en place l'un de ses réacteurs continus, Adanced-Flow Reactors (AFR) technology. Dans un premier temps, début 2015, Angelini a commencé à travailler avec Corning pour installer une ligne pilote de réacteurs G1 au sein de leurs installations. Corning a fourni deux réacteurs, l'un en verre et le second en carbure de silicium. Mi-2016, ils ont décidé de passer au réacteur G4 peu après avoir réussi le déploiement de leur produit dans l'installation pilote des premiers réacteurs. Corning a fourni une installation ATEX permettant à Angelini de se soumettre aux exigences qualité du secteur pharmaceutique, aux exigences de la Food & Drug Administration (FDA) et aux tests d'acceptation de l'usine. Corning a également fourni la documentation des qualifications opérationnelles des installations.

Angelini produit, vend et distribue des produits pour la santé et le bien-être. Les réacteurs en flux continu ont permis l'industriel de réaliser des synthèses chimiques qui n'étaient pas commercialement viables auparavant tout en améliorant leur rendement, la qualité du produit, la faisabilité et l'efficacité du processus chimique. Cette solution a également permis de réduire la variabilité de la performance et des coûts. La mise en place de ce type de technologie permet à Angelini d'envisager de nouvelles opportunités pour la production de principe actif.

Automatisation des activités logistiques d'un industriel du papier-carton

SAPPI, acteur mondial sud-africain de l'industrie du papier-carton, s'est équipé d'un système AGV entièrement automatisé pour accroître l'efficacité de la logistique interne des zones de découpe et de conditionnement de son site de Maastricht. L'usine, localisée sur un site de 14 hectares, emploie 4 800 personnes et produit 290 000 tonnes de papier couché sans bois par an. BA Systèmes, fournisseur français de systèmes intra logistiques avec AGV a réalisé avec succès l'automatisation partielle de l'usine de production de papier. La solution, composée d'une flotte de 7 AGV automatisé de type gerbeur frontal, a permis d'automatiser efficacement les flux de production et de stockage. Complètement intégrée au processus de production et fonctionnant 24h sur 24, 7 jours sur 7, la solution AGV prend en charge : le transport du papier depuis les machines de découpe vers la zone de stockage tampon, la gestion logistique et la manutention de la zone de stockage tampon et le transport de papier depuis le stock tampon vers les machines d'emballages de ramettes. La solution développée par BA Systèmes est une solution clé en main. Elle a nécessité une analyse logistique approfondie en amont de la mise en place. La solution complète est composée de 7 AGV d'un système de changement de batterie automatique (Autoswap) et d'une gestion du trafic *via* AGV Manager, le système de supervision de BA Systèmes. Le projet comprenait également la fourniture des racks et de l'interface avec des systèmes de convoyage existants et nouveaux. L'une des principales préoccupations de SAPPI était de préserver les feuilles de papier palettisées. Les AGV ont donc été adaptés par BA Systèmes pour assurer l'intégrité des charges fragiles pendant le transport. La diversité des charges à transporter, une trentaine avec des dimensions différentes, parfois instables à la manipulation, a nécessité la réalisation de tests approfondis pour garantir une manipulation sûre des différents formats. Ils ont été équipés de dossier de charge pour maintenir l'intégrité des piles en cas de freinage d'urgence, d'un nouveau dispositif de pressage pour garantir la stabilité de la pile de papier aux moments de prise, transport et de dépose et éviter tout risque de déformation ou de perte de feuilles individuelles, un positionneur de fourches pour manipuler en toute sécurité de la plus petite à la plus grande charge et un TDL (déplacement latéral) pour optimiser le stockage et minimiser les espaces vides dans les racks. Le système fonctionne à la fois en zone de production et de stockage et est totalement flexible et s'adapte à toutes les exigences. Les AGV peuvent être transférés d'une zone à l'autre si nécessaire par un opérateur *via* une commande sur un clavier.

Cas industriel de la mise en place d'IoT lié au produit

L'entreprise française FFLY4U accompagne les industriels dans la transformation digitale de leur supply chain. L'un de leur cas d'usage intéressant pour les acteurs des secteurs de la chimie et du papier-carton est la géolocalisation de tourets en outdoor. FFLY4U a accompagné Nexans, leader dans l'industrie du câble, à mettre en place un suivi de sa flotte de tourets qu'il met à disposition de ses clients comme Enedis. Nexans utilise ces tourets pour stocker et transporter les câbles de ses clients. Chaque année, ils dépensent plusieurs millions d'euros en louant ces tourets. La collecte de tourets vides et l'achat de nouveaux pour renouveler la flotte égarée, volée ou endommagée est un poste de coût important pour Nexans. Le coût annuel de la logistique retour des tourets dépasse le milliard d'euros et les pertes ainsi que l'investissement pour l'achat de nouveaux

tourets est d'environ 500 k€. Cette gestion non optimale a un fort impact sur la rentabilité du modèle de Nexans. Pour répondre à cette problématique, FFLY4U a accompagné Nexans pendant 6 mois en mettant en place des capteurs GPS sur une flotte de 550 tourets répartis sur 2 sites. La géolocalisation des tourets pouvait alors se faire *via* un portail web. Le dispositif mis en place a ainsi permis de réduire les temps d'immobilisations sur les chantiers, e réduire les coûts de gestion de tourets de l'ordre de 20%, d'optimiser les flux de transport retour et de suivre en temps réel l'avancée des chantiers sur les sites d'Enedis. Ce projet a été une réussite et les perspectives d'évolution vont du développement à des sites internationaux à l'extension de l'assise technologique *via* différents réseaux en passant par l'élargissement de la solution à d'autres matériels.

BIBLIOGRAPHIE

- The chemical industry reimagined – vision 2025 | EY | Juillet 2018
- Leading Players of the Global Paper Industry | Xerfi Global | Juillet 2018
- Les entreprises face à la révolution des compétences | Les Échos – Benoît Georges | 24/05/2018
- Digitalizing the supply chain equation – Envisioning tomorrow’s chemical landscape | EY | Avril 2018
- Industry 4.0 | Raconteur.net | 07/03/2018
- La vallée de la chimie expérimente le paysage productif avec huit démonstrateurs | Environnement Magazine | 03/01/2018
- Chemicals Trends 2018-19, A tipping point of profitability | Strategy& | 2018
- Global Digital Operations Study 2018 – Digital Champions – How industry leaders build integrated operations ecosystems to deliver end-to-end customer solutions | Strategy& | 2018
- Les impacts de la transformation numérique sur les métiers, l’organisation du travail, les compétences et les certifications dans les industries chimiques | Observatoires des industries chimiques et Roland Berger | Novembre 2017
- How industry 4.0 can transform chemical manufacturing | Processing Magazine | 23/10/2017
- Why Industry4.0 is imperative for the chemical Manufacturer | Sikich | Octobre 2017
- La fabrication de produits chimiques de base | Xerfi France | Septembre 2017
- Industrie du Futur : comment allier transition numérique et transition énergétique et écologique | ADEME | Septembre 2017
- The chemical industry in Italy : situation and outlook | Centro Studi Federchimica | Août 2017
- Total relance avec des partenaires son incubateur usine 4.0 | Infochimie | 03/07/2017
- Études Filières Industrie du Futur | Alliance Industrie du Futur | Juin 2017
- Low carbon energy and feedstock for the chemical industry | Dechema | Juin 2017
- Sanofi couve son usine du futur | Usine Nouvelle | 14/06/2017
- Chemicals 4.0 : facing the future with success | www.Invest-in-saxony-anhalt.Com | 08/06/2017
- Industrie 4.0: what does it mean for chemical companies? | Chemical Processing | 02/06/2017
- Sanofi s’apprête à raser un site R & D de 107 millions d’euros qui n’a jamais servi | Usine Nouvelle | 11/05/2017
- Industrie 4.0, Industrie du Futur ? | L’actualité chimique | Mai-juin 2017
- Impact du numérique dans la chimie, Présentation à l’AG de l’UIC | UIC et Roland Berger | 18 mai 2017
- Industrie 4.0, une mutation en cours | IT for Business | Mai 2017
- Global chemical pulse | EY | Mai 2017
- Cellulose Nanomaterials: State of the Industry, the Road to Commercialization | Market-Intell LCC, Jack Miller | 06/04/2017
- Une chimie forte pour l’Industrie du Futur – proposition des entreprises de la chimie pour les élections 2017 | Union des Industries Chimiques | Avril 2017
- The Chemical Industry in Germany | Germany Trade & Invest | Avril 2017
- Chez l’Oréal, les usines se robotisent, les salariés s’interrogent | La Voix du Nord | 12/04/2017
- Air Liquide télécommande ses usines | L’Usine Nouvelle | Mars 2017
- Arkéma élabore les composites du véhicules du futur | L’Usine Nouvelle | Mars 2017
- Air Liquide télécommande ses usines | Usine Nouvelle | 30/03/2017
- Industrie 4.0 in the Chemical Industry | Arc Insights | 02/03/2017
- Smart Manufacturing in the Chemical Sector – BASF’s digital Path | Financial Times Executive Briefing | BASF | 09/02/2017
- Air Liquide connecte ses usines | Les Echos | Février 2017
- Industry X.0 – « Combine and conquer, unlocking the power of digital » | Accenture | 2017
- Enquête Usine Nouvelle et UIC | 2017
- GS1 France collaborative traceability platform | GS1 France | 2017

- « Managing the Digital Transformation of Companies », Industrie 4.0 Maturity Index | Acatech – National Academy of Science and Engineering | 2017
- Rapport annuel 2017 | Copacel | 2017
- L'industrie chimique en France – Chiffres et idées clés | Union des Industries Chimiques | 2017
- Le génie des procédés en France – Quelles réponses du génie des procédés pour un renouveau industriel | Livre Blanc de la Société Française de Génie des Procédés | 2017
- The chemical multiverse 4.0 – Promising future for the strong, decisive, and persistent | Deloitte | 2017
- Industry 4.0 and the chemical industry | World of Chemicals | 27/12/2016
- Étude des besoins en recrutement et formation – Intersecteur Papier-Carton | Arthur Hunt Consulting | 2/12/2016
- Future skills for the paper industry | CEPI | Novembre 2016
- L'utilisation de l'hydrolyse enzymatique pour la production de nanocellulose dans une stratégie de bioraffinage forestier intégré | Pierre-Louis Bombeck, Jacques Hébert, Aurore Richel | Novembre 2016
- L'industrie Chimique en France en 2030 : perspectives et actions | Advancy | 03/10/2016
- Feuille de route industrie 4.0 – Plan d'action en économie numérique | Stratégie numérique du Québec – Ministère de l'économie de la science et de l'innovation | Octobre 2016
- La fabrication de produits chimiques de base | Xerfi | Octobre 2016
- Intensification des procédés – Fondamentaux et exemples d'industrialisation | Techniques de l'ingénieur issu de Procédés chimie – bio – agro – Opérations unitaires, génie de la réaction chimique par Christophe Gourdon | 10/09/2016
- Internet of Things – Industry 4.0 Role of the Chemical Industry | VCW | 01/09/2016
- Les fabricants de machine pour l'industrie du papier-carton | Xerfi | Septembre 2016
- Les chimistes européens surfent sur la vague du développement durable | Anne Feitz | 27/06/2016
- The promise of Nanocellulose Nanofibers | Sci-tech Economy | 26/05/2016
- Transforming Australia's forest products industry | Recommendations from the Forest Industry Advisory Council | Mai 2016
- The German Chemical Industry 2030 | VCI-Prognos Study | Update 2015/2016
- Rapport annuel 2016 | Copacel | 2016
- L'Industrie du Futur : une compétition mondiale | la Fabrique de l'industrie – Thibaut Bidet-Mayer | 2016
- Chemicals in Europe : the way forward – Balancing the equation with customized innovation and strategy | EY | 2016
- From global megatrends to industry 4.0 | Chemie Technik | 30/12/2015
- Technologies clés 2020 | Direction Générale des Entreprises | 07/12/2016
- Nanocellulose State of the industry | Markets-Intell LLC | Décembre 2015
- Papermaking 4.0 – Bringing together contemporary automation, data exchange and manufacturing technologies | PaperAge.com | Novembre - Décembre 2015
- The Age of Fibre – The pulp and paper industry's most innovative products | CEPI | Novembre 2015
- Solvay et Siemens dessinent l'usine du futur à Chalampe | IT Industrie et Technologies | 28/10/2015
- Au salon Achema, Siemens veut convertir la chimie et la pharmacie au numérique | Usine Digitale | 17/06/2015
- Réunir la Nouvelle France Industrielle | Dossier de presse du Gouvernement | 18/05/2015
- Molécules issues de la valorisation de la lignine | ValBiom | Jean-Luc Wertz | Mars 2015
- La transformation numérique de Fuji ? C'est de la chimie ! | IT Industrie & Technologies | 04/02/2015
- Papermaking 4.0 – bringing together contemporary automation data exchange and manufacturing technologies | Paperage | Novembre/Décembre 2015
- La consommation d'énergie dans l'industrie en France | Observatoire de l'industrie Électrique | 2015
- The Age of Fibre, the pulp and paper industry's most innovative products | CEPI, 2015
- BASF Factbook 2015 – Information for investors and analysts | BASF | 2015
- Total carbure aux algorithmes | L'Usine Digitale | 10/04/2014

- Air Liquide optimise les ressources en numérisant les flux | L'Usine Digitale | 10/04/2014
- Nanocellulose: Technology, Applications, and Markets | RISI Study | 2014
- Utilisation des lignines industrielles comme renfort dans les composites à base de polyéthylène | Université de Laval | Lei Hu – doctorat en génie chimique Ph.D | 2014
- Industrialisation des procédés et usine du futur | Techniques de l'ingénieur | 10/12/2013
- Corning Advanced Flow Reactors : engineered for seamless scale-up | Corning | Alessandra Vizza | 25-27/03/2013
- État des lieux et feuille de route de la filière chimie et matériaux | UIC, Fedem, la Plasturgie Fédération et Copacel | 04/02/2013
- La consommation d'énergie dans l'industrie en France | Observatoire de l'Industrie Électrique | 2013
- Feuille de route R & D de la filière Chimie du végétal | ADEME | Avril 2011
- From Batch to Continuous Flow Processing in Chemicals Manufacturing | AIChE Journal | Gary S. Calabrese et Sergio Pissavini | 08/03/2011
- La chromatogénie vers les matériaux barrières biosourcés de demain | CTP et BT3 | Décembre 2010
- Intensification des procédés | L'actualité Chimique | Laurent Falk, Claude de Bellefon, Christophe Gourdon et Christophe Serra | Février Mars 2010
- Les méso-réacteurs : opportunités et applications pour les industries chimiques | Alcimed | Septembre 2006

Crédits photographiques

Couverture (horizontalement de gauche à droite) : © AVTG - GettyImages ; © amnarj 2006 - GettyImages ; © Copacel ;
© copyrighted Mark Agnor 2014 - GettyImages.

Le déploiement de nouvelles solutions, fondées sur des technologies numériques ou des procédés innovants, peut constituer en France un atout de compétitivité pour les entreprises des secteurs de la chimie et du papier-carton, confrontées à une concurrence croissante sur le marché mondial.

Au regard de cet enjeu, la Direction générale des entreprises (DGE), France Chimie et Copacel ont confié au cabinet Ernst & Young la réalisation de l'étude « Industrie du Futur dans les secteurs de la chimie et du papier-carton : amélioration des outils de production et apport du numérique ».

L'identification de douze solutions innovantes, pertinentes pour les secteurs de la chimie et du papier-carton, conduit à analyser les effets de compétitivité qu'elles sont susceptibles d'engendrer, à examiner les conditions de leur mise à œuvre, et à proposer une démarche cohérente pour leur déploiement au sein des entreprises.

Les solutions fondées sur une utilisation massive des données (*Analytics industriel, Industrial Internet of the Things...*) peuvent contribuer à la performance industrielle des secteurs observés, en agissant favorablement sur le triptyque coût-qualité-délai. Les plateformes numériques (plateforme collaborative externe ou *marketplace*) fluidifient les interactions entre acteurs de la chaîne de valeur, permettant une consolidation de la relation client, propice à une meilleure adéquation entre l'offre et la demande. D'autres solutions, plus spécifiques aux deux secteurs étudiés (catalyse biologique, nanocellulose...), présentent une opportunité de différenciation concurrentielle en répondant notamment à certains enjeux de développement durable.

Plusieurs axes de déploiement de ces solutions sont préconisés : sensibiliser et accompagner le plus grand nombre d'entreprises pour l'adoption de solutions transverses aux deux secteurs, développer et mobiliser des compétences adaptées, recourir à des solutions mutualisables et rechercher des positionnements différenciants sur la chaîne de valeur.