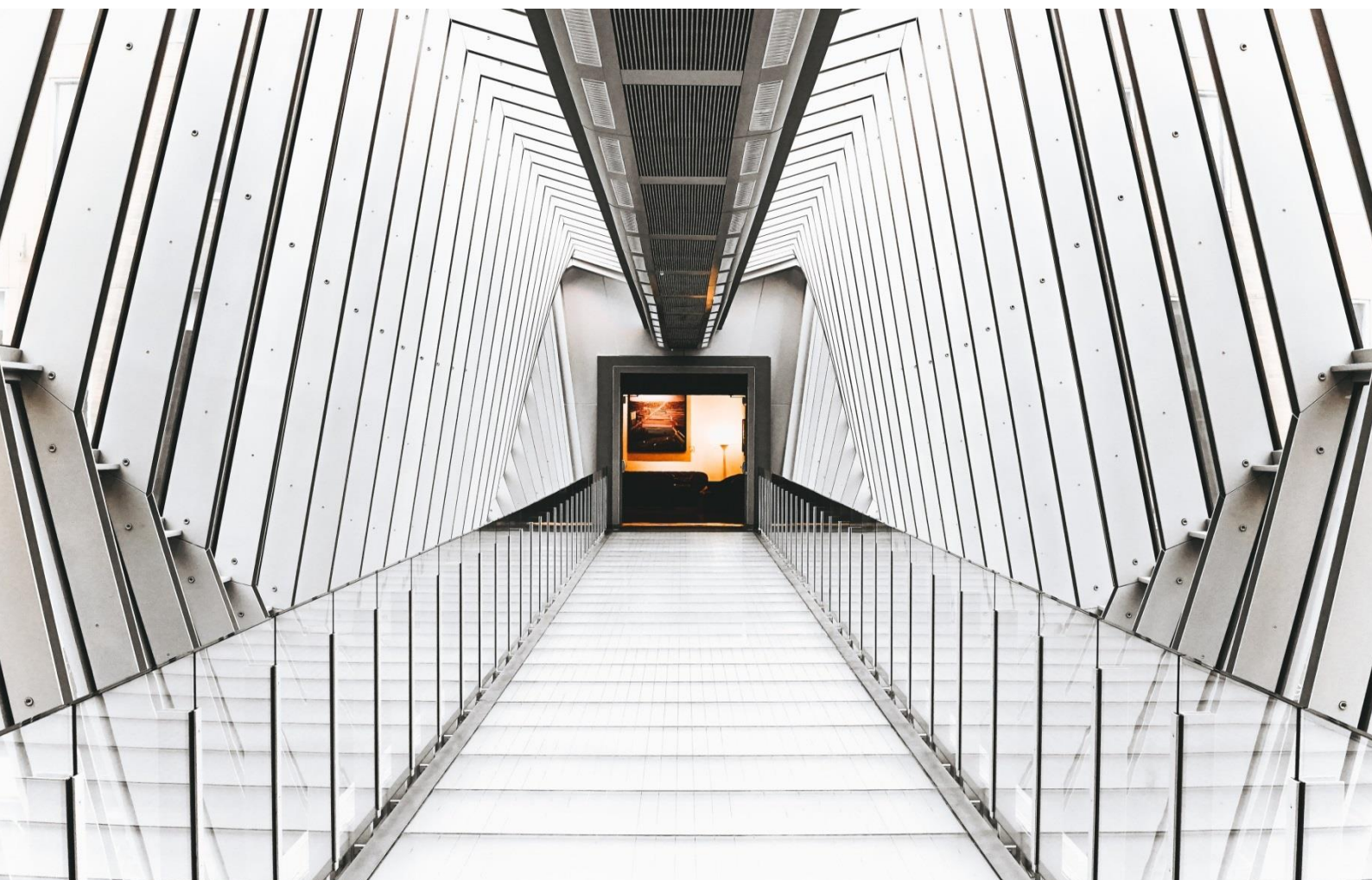




Deutsch-französische Plateforme énergétique
Energieplattform franco-allemande



Impacts du numérique au sein de l'industrie, au regard de la transition énergétique et écologique

Synthèse de l'étude

Mentions légales

Éditeur

Deutsche Energie-Agentur GmbH – Agence allemande de l'énergie (dena)
Chausseestraße 128 a
D-10115 Berlin
Tél : +49 (0)30 72 61 65-600
Fax : +49 (0)30 72 61 65-699
E-mail : info@dena.de
Internet : www.dena.de

Auteurs de l'étude « Impacts du numérique au sein de l'industrie, au regard de la transition énergétique et écologique » (2017) :

Benoît TINETTI, Deloitte Développement Durable,
Arnaud LADEPECHE, Deloitte Développement Durable,
Alexis LEMEILLET, Deloitte Développement Durable,
Pierre-Alexis DUVERNOIS, Deloitte Développement Durable,
Astrid MICHEL, Deloitte Développement Durable,
Agathe VIANO, Deloitte Développement Durable,
Noémie KELLER, Deloitte In Extenso,
Stéphane FAUSSURIER, Deloitte In Extenso,
Clélia FISCHER, Deloitte In Extenso,
Valérie ROCCHI, G-SCOP,
Peggy ZWOLINSKI, G-SCOP,
Javier OJEDA, SATIE.

Commanditaire de l'étude :

ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, « Direction Productions et Énergies Durables » et « Service Entreprises et Éco-Technologies »

Auteurs de la synthèse

Tobias Kampet, Agence allemande de l'énergie (dena)
Dr. Akamitl Quezada, Agence allemande de l'énergie (dena)

État : 11/2017

Tous droits réservés. L'utilisation requière l'accord préalable de la dena.

Cette publication a été financée par :



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Table des matières

1 Introduction	4
1.1 Objectifs pour l'ADEME	4
1.2 Approche méthodologique de l'étude	4
1.2.1 Une méthode en trois temps.....	4
1.2.2 Périmètre de l'étude	4
2 Revue bibliographique technologique	5
2.1 Méthodologie de collecte des documents et choix des technologies étudiées	5
2.2 Conclusions de la revue technologique.....	5
3 Revue bibliographique environnementale.....	6
3.1 Méthodologie de collecte et d'analyse des documents	6
3.2 Conclusions de la revue environnementale	6
4 Cas d'école	7
4.1 Sélection des cas d'école.....	7
4.2 Points de vigilance pour l'ensemble des cas d'école.....	9
4.2.1 Impacts sur l'emploi	9
4.2.2 Impacts indirects sur l'environnement.....	9
5 Recommandations : concilier transition numérique et transition écologique, au coeur de l'usine du future.....	10
Abréviations.....	12
Bibliographie	13

1 Introduction

Le présent document a été élaboré par la « dena » dans le cadre de la « plateforme énergétique franco-allemande » (<http://www.plateforme-f-a.fr/>). Il s'agit d'un résumé de la version finale de l'étude « Impacts du numérique au sein de l'industrie, au regard de la transition énergétique et écologique » (2017) commandé par l'ADEME.

1.1 Objectifs pour l'ADEME

L'étude en question doit permettre, dans un premier temps, de placer le numérique dans le contexte historique du développement industriel, et de dresser une typologie des impacts du numérique.

Dans un second temps, elle vise à établir des éléments permettant d'objectiver et de quantifier (dans la mesure du possible) les impacts du numérique dans l'industrie, au regard de la transition énergétique et écologique. Les impacts étudiés sont à la fois :

- **Économiques:** volumes produits, investissements nécessaires, évolution des coûts, économies réalisées, temps de retour sur investissement, etc.
- **Environnementaux:** consommations de matières et d'énergie, rejets de polluants (dans l'air, l'eau, le sol), effets rebonds du numérique, etc.
- **Sociaux:** évolution de l'emploi et des conditions de travail, dispositifs d'accompagnement et de formation mis en place, etc.

Enfin, l'étude de l'ensemble de ces éléments doit permettre d'identifier les leviers afin de faire converger l'industrie du futur et la transition écologique et énergétique.

1.2 Approche méthodologique de l'étude

1.2.1 Une méthode en trois temps

Pour atteindre les objectifs cités précédemment, l'étude s'articule en trois phases :

- **Phase 1:** État des lieux bibliographique technique et environnementale sur le numérique dans l'industrie, et identification de « cas d'école »
- **Phase 2:** Étude des « cas d'école » et projections
- **Phase 3:** Recommandations.

1.2.2 Périmètre de l'étude

Dans le cadre de cette étude, nous considérerons que les termes « Usine du futur » et « Industrie du futur » sont synonymes. Le terme d'Industrie 4.0 est quant à lui spécifiquement associé à la démarche allemande, et nous n'emploierons donc ce terme que dans le cas d'une référence à ce modèle.

Par ailleurs, le périmètre de l'étude se focalise sur les industries de première transformation et manufacturières: industries automobiles, navales et aéronautiques, industries mécaniques et fonderie, construction électrique et électronique, industries agro-alimentaires, papier-carton, chimie, minéraux non-

métalliques, non-ferreux et sidérurgie. Ne sont donc pas concernées les activités relatives au tertiaire et aux services (pour les services non liés à une externalisation d'une activité industrielle).

Enfin d'un point de vue technologique, le périmètre de l'étude englobe à la fois des technologies matures, renforcées par les outils numériques, et des technologies émergentes ou sur le point de l'être, et ce, sur l'ensemble du cycle de vie industriel, de la conception à la maintenance, en passant par le pilotage, la fabrication et la gestion des données.

2 Revue bibliographique technologique

2.1 Méthodologie de collecte des documents et choix des technologies étudiées

La revue bibliographique réalisée s'appuie sur des publications scientifiques et sur la littérature connue comme « littérature grise » (rapports de cabinets de conseil, de fédérations professionnelles, de Think Tanks et des pouvoirs publics) principalement françaises mais également européennes.

Au final, 50 documents de littérature grise principalement en langue française mais également internationaux ont été collectés.

Pour le volet scientifique de la revue bibliographique, huit entretiens ont été menés avec des chercheurs, chacun expert d'une phase du processus productif.

2.2 Conclusions de la revue technologique

La première conclusion de la revue technologique est la polysémie du terme « numérique ». Il ne recouvre pas les mêmes réalités selon les types de documents (littérature grise ou publications scientifiques). On constate, en mettant en perspective ces deux types de publications, que les technologies du numérique sont présentes depuis plus d'un demi-siècle dans l'industrie et ont progressé de manière régulière. Plusieurs auteurs soulignent la convergence de différentes technologies issues de l'informatique, des télécommunications et des technologies de production. Cela n'enlève en rien le caractère « disruptif » de certains aspects de l'industrie du futur (comme les systèmes cyber-physiques), cependant, le replacer dans une perspective historique, aide à comprendre le phénomène et à le relativiser.

La seconde conclusion porte sur la diffusion des technologies dans l'industrie. En France, l'intégration des technologies numériques se fait surtout dans les secteurs d'activités historiquement innovants tels que l'automobile, l'aéronautique et l'aérospatial. Les PME françaises suivent mais avec plusieurs années de décalage en raison des investissements très importants et de leurs besoins respectifs: tous les secteurs d'activité ne sont pas au même niveau de développement industriel et n'ont pas forcément nécessité d'installer des systèmes aussi sophistiqués pour croître. Pour l'industrie du futur, les entreprises françaises de taille moyenne, tout comme leurs homologues allemandes, sont encore très en-deçà du potentiel de développement promis par les différentes études. Comme l'ont souligné plusieurs académiques, il reste encore de nombreux verrous scientifiques et techniques pour généraliser l'industrie du futur.

La troisième conclusion porte sur la question de l'impact environnemental, qui n'est pas véritablement traité aujourd'hui, ni par la littérature grise ni par les publications scientifiques pour des raisons différentes. Pour la littérature grise, la question environnementale est un bénéfice indirect de l'intégration de ces technologies et ne peut être au final que positif (au sens du gain directement engendré chez l'industriel). Les principales inquiétudes portent plutôt sur les questions de sécurité des systèmes ainsi que sur les qualifications des employés. De plus, évaluer la consommation d'un atelier à l'aune de ses équipements cyber-physiques demande de nombreux travaux de recherche complémentaires (efficacité énergétique, matières, eau, etc.).

3 Revue bibliographique environnementale

3.1 Méthodologie de collecte et d'analyse des documents

Comme pour le volet technologique, une revue bibliographique a été conduite afin de déterminer le niveau de connaissances actuelles sur les impacts environnementaux de l'Industrie du futur. Des encadrés contenant des enseignements tirés des entretiens menés dans le cadre de cette étude viennent compléter les remarques issues de la bibliographie environnementale.

Une liste préliminaire de sources bibliographiques a été identifiée, basée:

- sur les connaissances des membres de l'équipe de projet et
- sur une recherche bibliographique utilisant des mots-clés.

Environ 250 publications ont ainsi été identifiées, puis un travail de tri a été effectué, permettant d'évincer les publications qui ne répondaient pas à la problématique et aux objectifs de l'étude.

3.2 Conclusions de la revue environnementale

L'étude bibliographique permet de mettre en exergue certains manques de la recherche sur les impacts environnementaux de la numérisation dans l'industrie, à savoir:

- les limites de cette revue bibliographique sont intrinsèques à l'absence de recul des publications sur le sujet. L'essor de l'industrie du futur est encore récent.
- On peut également relever que l'évaluation des impacts se fait encore beaucoup à travers des études ne présentant pas l'exhaustivité possible des méthodes d'analyses (par exemple pas d'analyse ACV complète). Aucune étude recensée ne concilie de façon correcte les trois axes d'analyse, à savoir: la prise en compte des **étapes du cycle de vie**, de différents **critères environnementaux**, et de l'ensemble des **impacts directs, indirects et systémiques** du système étudié. En particulier, les sujets suivants méritent d'être investis:
 - mieux prendre en compte le cycle de vie complet des technologies, et notamment les impacts associés aux phases amont (fabrication) et aval (fin de vie)
 - utiliser un panel plus large d'indicateurs (ne se limitant pas qu'aux émissions de gaz à effet de serre et à la consommation d'énergie), tels que les impacts sur l'épuisement des ressources et les indicateurs de toxicité

- Étudier l'ensemble des impacts directs et indirects, et notamment les impacts associés aux effets systémiques et rebond.
- Enfin, il existe un certain nombre de technologies sur lesquelles la recherche ne s'est pas encore vraiment penchée.

Néanmoins, ce manque d'information générale peut être partiellement dû aux enjeux de confidentialité et de secret industriel. Au vu de la diversité de technologies existantes, un bilan environnemental ne peut être généralisé à l'ensemble des technologies englobées dans le terme « industrie du futur ». Le bilan doit être étudié de façon spécifique pour chaque technologie. Au niveau des connaissances actuelles, il semble ainsi difficile de se prononcer sur l'impact environnemental global du numérique dans l'industrie.

4 Cas d'école

4.1 Sélection des cas d'école

La phase 2 de la mission a été consacrée à l'étude de cas d'école. Chaque cas d'école est un exemple d'utilisation d'une technologie numérique dans un ou plusieurs secteurs industriels, qui doit objectiver, de façon la plus quantitative possible, les impacts économiques, environnementaux et sociaux / organisationnels de cette technologie. L'exercice est à la fois prospectif (incluant les technologies peu matures aujourd'hui mais prometteuses) et rétrospectif (pour un bilan des technologies utilisées depuis quelques années). Le tableau ci-dessous présente les dix cas d'école choisis par un comité de sélection:

Tableau 1 : Liste des cas d'école retenus par le comité de sélection

Titre	Description
1 La simulation numérique d'une opération complexe ou dangereuse	La simulation numérique d'une opération complexe ou dangereuse sert à éviter une intervention humaine pour une opération dangereuse. On focalise ici sur les opérations de maintenance, qui sont « le dernier pré carré de l'humain », et comptent parmi les opérations les plus dangereuses sur site industriel.
2 Le jumeau numérique industriel	Le jumeau numérique industriel virtualise les opérations de conceptions et de maintenance, et est utile sur l'ensemble du cycle de vie du produit / procès. Il sert ainsi à simuler la ligne de production du début à la fin.
3 L'automatisation et la flexibilité de la chaîne de production pour s'adapter à la demande	Ce cas d'école cible l'adaptation de la chaîne de production pour produire en petites séries selon une demande plus personnalisée . (personnalisation de masse , en anglais « mass-customization ») La prévision plus fine de la demande est un prérequis de cette adaptation.
4 Les outils numériques de	L'optimisation des procédés industriels étudiée est basée sur:

mesure et contrôle de la production (capteurs de mesure)	<ol style="list-style-type: none"> 1) La mesure des procédés de production, au travers d'Intelligent Electronic Devices, ou IED (automates, compteurs, appareils de mesure ayant un moyen de se connecter à l'extérieur) 2) Un contrôle périphérique, qui est une couche intermédiaire (interface technique entre l'étape précédente et la suivante) 3) L'analyse des données de production, via des algorithmes de calcul et des applications.
5 Le pilotage à distance du procédé industriel	Le pilotage à distance des unités de production concerne des processus où des nombreuses données de production et les données client suivies sont utilisées pour le pilotage des procédés de fabrication.
6 Business intelligence	L'informatique décisionnelle (en anglais business intelligence est l'informatique à l'usage des décideurs et des dirigeants d'entreprises. Elle désigne les moyens, les outils et les méthodes qui permettent de collecter, consolider, modéliser et restituer les données, matérielles ou immatérielles, d'une entreprise en vue d'offrir une aide à la décision et de permettre à un décideur d'avoir une vue d'ensemble de l'activité traitée.
7 L'assistance aux opérateurs	<p>La robotique (ou robotique collaborative) est une branche émergente de la technologie qui vise à produire des robots assistant l'homme, en automatisant une partie de ses tâches.</p> <p>Ce domaine est à l'interface des technologies cognitives et du facteur humain (comportement, décision, robustesse et contrôle de l'erreur), de la biomécanique et de la robotique.</p>
8 La fabrication additive sable pour la fabrication de moules complexes	La fabrication additive sable désigne un procédé de fabrication par ajout de sable, la plupart du temps assistée par ordinateur. Elle est définie par l'ASTM comme la fabrication par empilement de couches successives, par opposition à l'usinage qui fonctionne par retrait de matière.
9 La traçabilité des flux et des produits par puces RFID ou fichiers numériques associés	La technologie RFID permet d'identifier précisément chacune des pièces ou élément produit afin d'effectuer un suivi efficace.
10 La maintenance prévisionnelle des moteurs électriques	La maintenance prévisionnelle est une maintenance conditionnelle basée sur le franchissement d'un seuil prédéfini qui permet de donner l'état de dégradation du bien avant sa détérioration complète.

4.2 Points de vigilance pour l'ensemble des cas d'école

4.2.1 Impacts sur l'emploi

Il existe une tendance lourde à la baisse des effectifs dans l'industrie française, dans laquelle le numérique joue un rôle paradoxal. D'un côté, le numérique peut être dans certains secteurs un facteur de relocalisation des emplois. Cette promesse en tout cas est faite par les promoteurs de l'industrie du futur, à commencer par les pouvoirs publics. Le numérique comme facteur du maintien de l'emploi est une affirmation qui ressort également de plusieurs cas d'école.

Mais d'autre part, les nouvelles technologies (numériques) sont une cause directe de gains de productivité, ce qui signifie: soit des suppressions de postes à volume produit constant, soit un maintien des postes existants pour une augmentation du volume produit.

Si le numérique a ainsi contribué à un mouvement de l'emploi industriel entre les pays développés et les pays en développement, il se pourrait maintenant qu'il se traduise, d'ici à 2020 puis au-delà, par une perte nette d'emplois industriels au niveau mondial. Selon le rapport du World Economic Forum publié en janvier 2016: « les tendances actuelles pourraient aboutir à un impact net de plus de 5,1 millions d'emplois supprimés sur la période 2015-2020. Selon les calculs de l'étude, 7,1 millions d'emplois pourraient être perdus entre 2015 et 2020, dont près de 4,8 millions dans le secteur tertiaire et 1,6 million dans l'industrie; près de 2 millions d'emplois seraient créés grâce au numérique dans divers secteurs économiques, au rang desquels l'industrie ne figure pas.

4.2.2 Impacts indirects sur l'environnement

Effets rebond

Si les impacts directs des technologies numériques déployées sont parfois connus ou peuvent être estimés (voir ci-dessus), les effets rebond en revanche sont systématiquement inconnus et très difficiles à évaluer. On appelle « effet rebond » les impacts environnementaux de 2ème ou 3ème ordre des technologies évaluées. Ces effets rebond peuvent être:

- **Directs:** apparaissent lorsqu'une baisse du coût de l'énergie induit des réductions de prix qui déclenchent une augmentation de la demande pour le bien coûtant le moins cher
- **Indirects:** quand une ressource est utilisée de manière plus efficace et que son prix descend, les ressources financières dégagées induisent la consommation d'autres produits
- **Structurels:** apparaissent lorsque la baisse des prix de l'énergie induit une réduction des prix des biens intermédiaires et finaux dans toute l'économie, et provoquent des changements structurels dans les modes de production et les habitudes de consommation.

Il n'existe pas d'étude sur les effets rebond des technologies numériques dans l'industrie, ni d'exemples issus des cas d'école où ces effets rebond seraient évalués (même approximativement).

Relativité des bénéfices environnementaux

Les bénéfices environnementaux présentés par certaines des technologies numériques étudiées sont toujours relatifs. Cependant l'étude ne compte que des cas d'école qui s'inscrivent dans un modèle de

croissance de la production: les entreprises étudiées produisent autant avec moins, ou plus avec autant, mais elles ne produisent pas moins. Dans de nombreux cas, les rendements sont améliorés et les consommations unitaires de matière ou d'énergie sont réduites, mais en valeur absolue ces consommations continuent à progresser. Autrement dit, les gains de productivité s'accompagnent toujours d'une hausse des volumes produits. Il n'y a pas de « changement de modèle » de ce point de vue-là.

5 Recommandations : concilier transition numérique et transition écologique, au coeur de l'usine du futur

L'analyse des cas d'école a renforcé les grands enseignements de l'analyse bibliographique. Aujourd'hui, il est clair que le lien entre la transition numérique et la transition écologique et énergétique dans l'industrie est largement insuffisant, et qu'il n'existe pas de réelle dynamique pour le développer, malgré une bonne compréhension des enjeux par les acteurs concernés. Pour faire évoluer cette situation et construire le chemin vers une usine du futur responsable des points de vue environnementaux et sociaux, des recommandations sont proposées. Une première version de ces recommandations a été présentée le 5 juillet 2017 à Paris lors d'un atelier co-organisé par l'ADEME, la FING, Mines ParisTech, TelecomParisTech et Deloitte, ce qui a permis d'échanger avec les parties prenantes (notamment des industriels) et d'enrichir les leviers identifiés afin de faire converger industrie du futur, transition numérique et transition écologique et énergétique.

Les recommandations pour concilier la transition numérique et la transition énergétique et écologique au coeur de l'usine du futur sont réparties selon trois axes prioritaires:

- **SAVOIR. Comblé le manque actuel de connaissances et de données** sur les impacts environnementaux et sociaux des technologies numériques au sein de l'industrie:
 - ➔ Recommandation n°1: Proposer des indicateurs simples, à destination des industriels, pour l'évaluation environnementale et sociale des technologies numériques dans l'industrie
 - ➔ Recommandation n°2 : Développer la collecte des données environnementales et sociales des technologies numériques dans l'industrie, en s'appuyant notamment sur les acteurs du numérique (lancement de travaux dédiés de type ACV ou monographie selon le type de technologie concernée, etc.)
 - ➔ Recommandation n°3: Favoriser la capitalisation des connaissances sur les impacts environnementaux et sociaux des technologies numériques de l'usine du futur au sein d'un centre de ressources regroupant données et retours d'expérience.
- **VOULOIR. Faciliter l'engagement des acteurs du numérique** et des industriels dans une transition numérique responsable:
 - ➔ Recommandation n°4: Renforcer l'expertise environnementale au sein des acteurs de l'Industrie du Futur, notamment l'Alliance Industrie du Futur
 - ➔ Recommandation n°5: Impliquer davantage les acteurs du numérique dans l'amélioration de la performance environnementale de leur produits et services

→ Recommandation n°6: Accompagner la mutation des emplois d'aujourd'hui et de demain pour associer enjeux environnementaux et enjeux numériques.

- **POUVOIR. Adapter les règles de financement de l'usine du futur** en corrélant transition numérique et transition écologique de manière plus systématique:

→ Recommandation n°7: Faire évoluer les outils financiers existants, notamment en intégrant des critères d'éco-conditionnalité aux aides publiques à la transition numérique dans l'industrie.

Enfin, une dernière recommandation traite d'un enjeu transversal essentiel, pour:

- À court et moyen terme, impliquer un nombre suffisant d'acteurs - fournisseurs de technologies, industriels, financeurs, académiques - dans la transition vers une usine du futur responsable
- À plus long terme, pérenniser et développer les résultats obtenus, et accompagner une transformation profonde des modèles économiques et de production des industriels, condition nécessaire pour assurer une réelle adéquation entre transition numérique (industrielle) et transition écologique et énergétique.
 - Recommandation n°8: Articuler les ambitions nationales et européennes à court, moyen et long terme sur les sujets du numérique et de la transition énergétique et écologique.

Abréviations

ACV : Analyse du Cycle de Vie

RFID : Radio Frequency Identification

IED : Intelligent Electronic Device

Bibliographie

TINETTI, Benoît / LADEPECHE, Arnaud / LEMEILLET, Alexis / DUVERNOIS, Pierre-Alexis / MICHEL, Astrid / VIANO, Agathe / KELLER, Noémie / FAUSSURIER, Stéphane / FISCHER, Clélia / ROCCHI, Valérie / ZWOLINSKI, Peggy / OJEDA Javier (2017) : Impacts du numérique au sein de l'industrie, au regard de la transition énergétique et écologique. ADEME.



Deutsch-französische Energieplattform **Plateforme énergétique franco-allemande**

www.d-f-plattform.fr

