



Daniel Buhr

# Une politique d'innovation sociale pour l'industrie 4.0

une bonne société –  
une démocratie sociale  
#2017 plus

**FRIEDRICH  
EBERT**   
**STIFTUNG**

## une bonne société – une démocratie sociale #2017 plus

UN PROJET DE LA FRIEDRICH-EBERT-STIFTUNG  
POUR LES ANNÉES 2015 À 2017

Quels sont les éléments-clés qui caractérisent une Bonne Société ? Notre compréhension de ce concept englobe la justice sociale, la durabilité environnementale, une économie innovante et florissante ainsi qu'une démocratie à laquelle les citoyennes et les citoyens participent activement. Cette société repose sur les valeurs fondamentales de la liberté, de la justice et de la solidarité.

Nous avons besoin de nouvelles idées et de nouveaux concepts afin d'éviter que la Bonne Société ne devienne une simple utopie. C'est la raison pour laquelle la Friedrich-Ebert-Stiftung a décidé de préparer des recommandations concrètes pour l'action politique des années à venir. Dans ce cadre, nous nous concentrerons sur les thèmes suivants :

- débat sur les valeurs fondamentales :  
la liberté, la justice et la solidarité ;
- démocratie et participation démocratique ;
- nouvelle croissance et politique économique et financière créative ;
- création d'emplois de qualité et progrès social.

Une Bonne Société ne se crée pas d'elle-même. Elle doit être forgée continuellement grâce au concours de chacun d'entre nous. En vue de la réalisation de ce projet, la Friedrich-Ebert-Stiftung s'appuie sur son réseau mondial afin de connecter les perspectives allemande, européenne et internationale. Dans le cadre de nombreuses publications et manifestations prévues pour la période 2015–2017, la Fondation se consacrera régulièrement à ce sujet afin de faire de la Bonne Société un modèle à succès pour l'avenir.

Pour de plus amples informations, veuillez consulter notre site web :  
[www.fes-2017plus.de](http://www.fes-2017plus.de)

### La Friedrich-Ebert-Stiftung

La FES est la plus ancienne fondation politique d'Allemagne. Elle tire son nom du responsable politique Friedrich Ebert, qui fut le premier président allemand élu démocratiquement.

Notre fondation appuie son action sur les valeurs de liberté, de justice et de solidarité qui constituent les valeurs fondamentales de la social-démocratie. En tant qu'institution d'utilité publique, la FES agit en toute indépendance et promeut au sein de la société un dialogue pluraliste sur les défis politiques de notre époque. Nous nous considérons comme partie intégrante de la communauté de valeurs sociale-démocrate et du mouvement syndical en Allemagne et dans le monde. Dans le cadre de nos actions en Allemagne et à l'étranger, nous incitons les citoyens à participer activement à l'évolution de leurs sociétés et à s'engager pour la démocratie sociale.

### L'auteur

**Prof. Dr. Daniel Buhr** enseigne l'analyse politique et l'économie politique à l'Institut de sciences politiques de l'Université Eberhard Karl de Tübingen.

**Daniel Buhr**

# Une politique d'innovation sociale pour l'industrie 4.0

3		<b>Préface</b>
4	<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>
6	<b>2</b>	<b>ANALYSE</b>
6	2.1	Qu'est-ce que l'industrie 4.0 ?
8	2.2	Les conséquences pour les entreprises et les branches
10	2.3	L'industrie 4.0 et ses conséquences pour le monde du travail Conséquences à l'échelle macroéconomique pour le marché du travail Conséquences sur l'organisation du travail dans les entreprises
12	2.4	Où en sommes-nous aujourd'hui ?
14	<b>3</b>	<b>DIX THÈSES SUR LA POLITIQUE DE L'INNOVATION POUR L'INDUSTRIE 4.0</b>
14	Thèse 1	Qui veut l'industrie 4.0 doit favoriser les systèmes.
14	Thèse 2	Qui veut l'industrie 4.0 doit porter un regard critique sur « l'obsession de la haute technologie ».
15	Thèse 3	Qui veut l'industrie 4.0 doit miser sur le progrès social.
15	Thèse 4	Qui veut l'industrie 4.0 devrait surtout l'envisager comme une innovation sociale.
16	Thèse 5	Qui veut l'industrie 4.0 doit consolider le « modèle allemand » (d'une économie de marché coordonnée).
16	Thèse 6	Qui encourage la technologie doit penser à l'humain.
16	Thèse 7	Qui veut l'industrie 4.0 doit s'appuyer sur l'Europe.
17	Thèse 8	Qui veut l'industrie 4.0 doit miser sur la protection et la sécurité des données.
17	Thèse 9	Qui voit les choses en grand (l'industrie 4.0) doit surtout penser aux petits.
17	Thèse 10	Qui veut des innovations systémiques devrait encourager la coordination.
19	<b>4</b>	<b>CONCLUSION</b>
20		Littérature
21		Table des illustrations
21		Table des abréviations



# PRÉFACE

Le concept de « l'industrie 4.0 » a été introduit dans le débat public par la « Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft »<sup>1</sup>. Il désigne la digitalisation de la production industrielle. Le concept dessine la vision d'une usine intelligente, caractérisée par la mise en réseau de toutes les parties et tous les processus de la production : le pilotage virtuel en temps réel et l'emploi croissant de robots et d'unités de travail autopilotées doivent contribuer à accroître la productivité grâce à une plus grande efficacité dans l'emploi des ressources. Cette mutation est déjà en cours et la notion de « l'industrie 4.0 » est aujourd'hui très présente dans le débat sur le numérique en Allemagne.

Les convergences entre production et interaction, entre travail et communication relèvent de plus en plus de compétences interdisciplinaires pour préserver la compétitivité économique. Non seulement les connaissances techniques, mais aussi la flexibilité, la créativité et la capacité d'innovation deviennent les facteurs décisifs de la réussite pour les entreprises et leurs salariés. Toutefois, ces capacités n'apparaissent pas spontanément dans les entreprises. L'industrie 4.0 a besoin du soutien d'une politique appropriée en faveur de l'innovation. Mais celle-ci n'est pas l'apanage de l'Etat. Au même titre que les acteurs publics, les parties prenantes au sein de la société, des entreprises et des sciences doivent élaborer une vision systémique de l'innovation, pour pouvoir concevoir de façon globale le passage au numérique dans les entreprises.

Les modifications mises en œuvre par l'interconnexion et l'utilisation des données ont une portée qui dépasse largement la seule production industrielle. Elles remettent en partie en question des éléments fondamentaux du monde du travail et de la production. Elles impactent globalement nos structures économiques et notre façon de vivre ensemble au sein de la société.

Nous ne sommes qu'au début d'un débat de fond qui apporte pour le moment plus de questions que de réponses. C'est dans ce cadre que la Fondation Friedrich-Ebert a organisé une série d'entretiens centrés sur les conséquences de l'industrie 4.0. Ce sont les résultats de ces débats que nous souhaitons vous présenter au travers de l'étude rédigée par le professeur Dr. Daniel Buhr de l'Université Eberhard Karl de Tübingen. Son idée maîtresse : afin de pouvoir apporter des réponses aux profonds bouleversements qu'elle engendre, l'industrie 4.0 ne doit pas seulement être considérée comme une innovation technique, mais aussi comme une innovation sociale.

Nous vous souhaitons une agréable lecture !

## **HANS EICHEL**

Ancien ministre fédéral, porte-parole du groupe de travail « politique structurelle durable » de la Friedrich-Ebert-Stiftung

## **DR PHILIPP FINK**

Département politique économique et sociale de la Friedrich-Ebert-Stiftung

## **PATRICK RÜTHER**

Cercle des managers de la Friedrich-Ebert-Stiftung

<sup>1</sup> Il s'agit d'une association réunissant 28 représentants du monde de l'entreprise et des sciences (ndt).

## 1

INTRODUCTION<sup>2</sup>

Pour le moment, l'industrie 4.0 est plus une vision qu'une réalité. Mais on perçoit dès à présent qu'elle s'inscrit dans une évolution qui va non seulement bouleverser notre façon de conduire l'activité économique, mais aussi notre façon de vivre ensemble au sein de la société.

Le numérique continue de progresser. Avec lui, les machines se chargent de plus en plus d'activités et de tâches, dans les ateliers de production de Détroit et Bochum comme dans ceux de Chine, du Vietnam ou du Bangladesh. Cependant, les hommes développent aussi des machines et continuent de travailler avec elles. Par conséquent, le recul progressif des modes et des facteurs de production traditionnels signifie également la montée en puissance des innovateurs. Il faut inventer de nouveaux modes d'organisation, de nouveaux produits, de nouveaux services, de nouveaux débouchés et de nouveaux modèles économiques.

Ces évolutions conduisent notamment les responsables politiques à se poser des questions essentielles :

- Comment promouvoir le développement de ces nouveaux produits, services et modèles économiques ?
- Et comment pouvons-nous nous faire en sorte que ces évolutions ne profitent pas seulement à une petite partie de la société mais au plus grand nombre possible ?

La course aux bonnes idées a déjà commencé dans les entreprises, parmi les politiques et au sein de la société.

Mais jusqu'ici, c'est surtout sur le plan technologique qu'elle a été menée. C'est une erreur. Si nous voulons saisir les chances offertes par la progression du numérique, il est nécessaire de reconnaître son potentiel pour l'ensemble de la société. Dans « Second Machine Age » (Brynjolfsson et al. 2014) tout particulièrement, l'homme assume un rôle central de développeur, concepteur et coproducteur. Il faut donc, à côté des innovations techniques, s'intéresser aussi davantage aux innovations sociales ; non seulement parce qu'elles signifient que de nouvelles pratiques sont adoptées et utilisées par les personnes, les groupes ou des organisations concernées en réponse aux défis sociaux, mais aussi parce qu'elles aident à la diffusion et la dissémination de nombreuses évolutions technologiques.

Cela vaut particulièrement pour l'industrie 4.0. Quelle est la vision ? Les personnes, les choses, les processus, les services et les données – tout est mis en réseau, connecté. Sous l'impulsion d'internet, le monde réel fusionne avec le monde virtuel. Les objets intelligents, équipés d'actuateurs et de capteurs, de codes QR et de puces RFID, se pilotent eux-mêmes au sein de l'usine intelligente et tout au long de la chaîne de création de valeur, depuis le développement du produit jusqu'au service. La production se retrouve ainsi centralisée, elle gagne en souplesse et en rapidité. Ainsi, toutes les informations pertinentes pourraient à l'avenir être accessibles en temps réels pour toutes les personnes et toutes les machines concernées – y compris pour les clients et les partenaires commerciaux. Les souhaits les plus individuels des clients pourraient ainsi être exhaussés par le bais du dialogue. La vision du « taille lot de 1 »<sup>3</sup> devient réalité dans la production industrielle (de série). Cette évolution s'accompagne aussi de gains d'efficacité et de productivité, parce que les ressources sont employées de façon mieux ciblée.

On produit donc non seulement plus intelligemment, mais aussi plus durablement. Nombreux sont ceux qui parlent déjà de la « quatrième révolution industrielle » dans la mesure où la montée en puissance du numérique met d'une part les modèles économiques traditionnels sous pression et permet d'autre part l'émergence de modèles entièrement nouveaux. Ainsi, ces évolutions sont porteuses de quantités d'opportunités mais aussi de bon nombre de risques et de défis pour l'économie comme pour la société – non seulement le décloisonnement croissant du travail ou les questions encore sans réponse en matière de protection et de sécurité des données, mais aussi la disparition de certaines activités et l'apparition de nouvelles qualifications et de nouvelles tâches.

La présente étude s'attache d'abord à désigner ces opportunités et ces défis, pour ensuite se consacrer à une question centrale : que peut faire la politique pour accompagner le passage à l'industrie 4.0 ? La réponse à cette question s'élabore autour de dix thèses qui résultent de l'exploitation des études existantes, mais aussi de l'analyse d'une série d'entretiens organisés par la Friedrich-Ebert-Stiftung sur le thème de l'industrie 4.0. Lors de quatre rencontres réparties sur l'année 2014, un groupe d'une cinquantaine de participants

<sup>2</sup> L'auteur tient à remercier l'équipe de la Friedrich-Ebert-Stiftung, Dr. Philipp Fink et Patrick Rüter, ainsi que Heinrich Tiemann, ancien secrétaire d'Etat et Dagmar Bornemann, membre du bureau du Cercle des managers de la Friedrich-Ebert-Stiftung, pour leurs indications précieuses.

<sup>3</sup> La taille de lot est un concept dans le domaine de la production. Il correspond à la quantité d'un mélange, d'une variété ou d'une série pouvant être fabriqués sans modification des réglages des machines ni interruption de la fabrication.

s'est réuni pour mener un dialogue centré sur des aspects importants de l'industrie 4.0. La série s'articulait autour de quatre questions centrales qui constituent les points de référence de la présente étude :

- Qu'est-ce que l'industrie 4.0 ?
- Quelles conséquences a-t-elle pour certaines branches et certaines entreprises ?
- Que signifie-t-elle pour le monde du travail ?
- Qu'est-ce que l'industrie 4.0 attend de la technologie, de la recherche – et de la politique ?



## 2

## ANALYSE

## 2.1 QU'EST-CE QUE L'INDUSTRIE 4.0 ?

L'industrie 4.0 correspond à la vision d'une numérisation croissante de la production. Cette notion décrit la manière dont « l'internet des objets, des données et des services » va modifier les processus de production, la chaîne logistique et les modes de travail (Acatech 2014). Les représentants du monde de l'industrie parlent volontiers de quatrième révolution industrielle. Ils désignent ainsi un nouvel échelon dans l'organisation et le pilotage de l'ensemble de la chaîne de création de valeur, au plus près des souhaits individuels des clients. Dans cette perspective, la chaîne de création de valeur en-

globale tout le cycle de vie des produits : depuis l'idée, en passant par la commande, le développement et la fabrication, la livraison du produit au client final jusqu'au recyclage du produit, avec tous les services associés. On peut imaginer une multitude de scénarios différents (illustration 1).

Ces scénarios se fondent sur l'avancée croissante du numérique qui nous catapulte dans « l'ère secondaire des machines » (Brynjolfsson/McAfee 2014a). Ainsi, ce sont les données qui constituent la matière première de cette quatrième révolution industrielle (voir illustration 2). A l'avenir,

## Illustration 1

## Scénarios d'application (Use cases) de l'industrie 4.0

**Scénario 1 : L'usine résiliente (source : Festo)** La résilience signifie ici la capacité de résistance, mais aussi l'agilité, l'adaptabilité, la redondance, la décentralisation et la capacité d'apprentissage. Dans une usine résiliente, il faut fabriquer une large palette de produits dotés de caractéristiques spécifiques selon les clients et sujets à une demande très saisonnière. L'adaptation des lignes de production à la situation permet une production en flux tendu avec une exploitation optimale des capacités.

**Scénario 2 : Le marché des données technologiques (source : TRUMPF)** Sur une machine de découpe laser, les pièces des clients sont produites à partir de feuilles de tôle. Toutefois, les données techniques disponibles sur la machine ne donnent pas les indications nécessaires sur la qualité. On n'a ni les matériaux, ni le temps nécessaire pour une optimisation traditionnelle des informations de découpe. En accédant au savoir-faire technologique interne et externe, on peut exécuter la commande dans les délais et avec le niveau de qualité attendu.

**Scénario 3 : La gestion intelligente de la maintenance (source : wbk)** Les coûts indirects engendrés par les arrêts non-planifiés des machines peuvent dépasser de beaucoup les coûts directs liés à une opération de maintenance ou à une réparation. Les concepts de maintenance préventive permettent aux exploitants de réduire nettement les coûts engendrés par les arrêts imprévus de leurs machines.

**Scénario 4 : La production en réseau (source : iwb)** Les grandes tendances telles que l'individualisation des produits, associées au fonctionnement turbulent des marchés, conduisent à une complexification des processus de production. Dans un tel environnement, il faut éviter les pertes liées aux coûts d'organisation grâce à une planification et un pilotage appropriés de la production, afin d'accroître encore la compétitivité des entreprises manufacturières en Allemagne.

**Scénario 5 : La logistique adaptative auto-organisée (source : Daimler)** Dans la production en réseau, la fiabilité des processus logistiques est décisive pour le bon déroulement, sans à-coup et sans défaut, du processus de création de valeur. A l'avenir, il faudra de plus en plus de flexibilité tant sur le nombre d'exemplaires à produire que sur les variantes

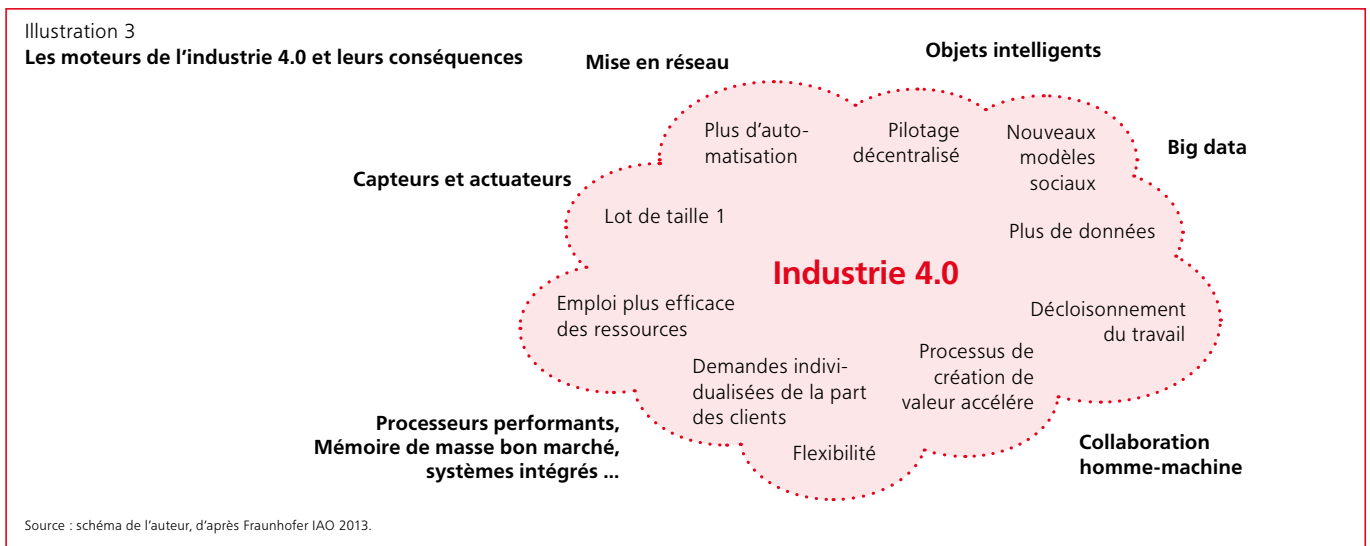
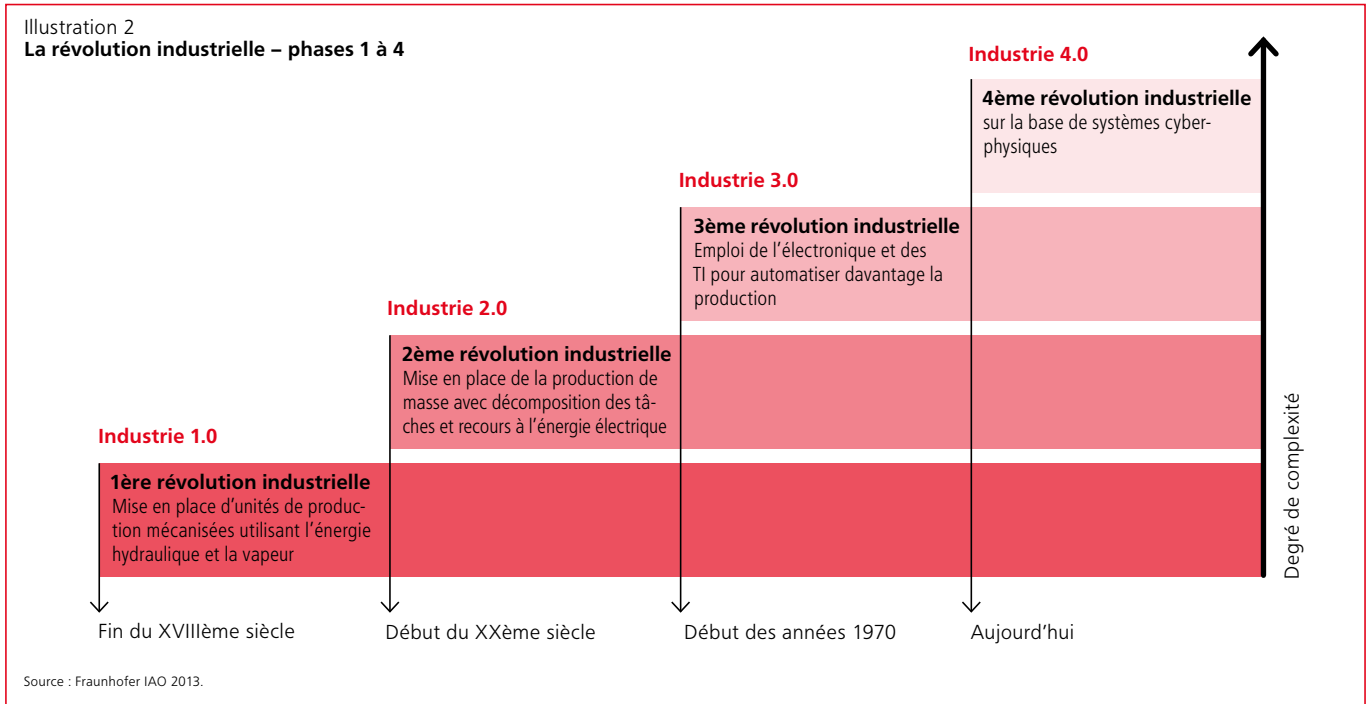
de production, et les goulets d'étranglement et les erreurs de livraison deviendront des risques plus probables. Les systèmes cyber-physiques (CPS) permettent la transparence des mouvements de matériaux et de composants. Ils constituent ainsi la base technique sur laquelle s'organise le pilotage dynamique de la logistique interne au sein d'une usine flexible.

**Scénario 6 : L'ingénierie intégrant le client (source : IPA)** Face aux exigences toujours plus poussées des clients en termes de respect des délais et de modification tardive des spécifications, il devient nécessaire de repenser en profondeur l'interaction traditionnelle entre le client et la chaîne d'approvisionnement dans le processus de production. En intégrant le client dans les activités de développement, de planification et de création de valeur de l'entreprise, on donne naissance à une nouvelle transparence et à une production réactive grâce à la synchronisation parfaite de toutes les parties prenantes.

**Scénario 7 : Le développement durable grâce au surcyclage (source : IPA)** Au fur et à mesure qu'augmentent les prix des matières premières, leur impact sur le prix total du produit augmente également. Pour les produits de haute technologie en particulier, les matières premières sont souvent un facteur limitant (notamment les terres rares, le platine). Si une entreprise ne vend pas ses produits, mais uniquement leur utilisation, elle conserve la propriété des matières premières mises en œuvre. Cela n'a de sens que lorsque les informations de fabrication, de montage et de recyclage sont stockées directement dans le produit. Quand on fournit l'ensemble de ces informations, il devient possible de remplacer le décyclage ou le recyclage par un surcyclage.

**Scénario 8 : L'architecture de l'usine intelligente (source : IPA)** Lorsque de nombreuses entreprises ont assimilé l'idée du cycle de vie d'un produit, et donc aussi l'idée du cycle de vie d'une usine, on découvre à quel point il est difficile de synchroniser ces cycles de vie. Tout comme les cycles de vie des produits, il existe un cycle de vie propre à l'usine, qui doit être organisé en fonction des produits. L'usine intelligente offre ainsi la possibilité d'établir un cycle complet intégral, en complétant l'approche HTO par les TI, dans un méta-niveau de rang supérieur.





elles seront accessibles à tout moment et en tout lieu. Pour ceux qui pourront exploiter cette mine inépuisable de données s'ouvriront alors des perspectives fantastiques, notamment en termes de flexibilité et d'efficacité.

L'industrie 4.0 pourrait être un résultat de cette progression du numérique qui constituerait un réseau entre toutes les instances impliquées dans la création de valeur et au sein duquel toutes les informations pertinentes seraient échangées de façon autonome et directe. L'association de l'homme, des objets et des systèmes donne naissance à des réseaux de création de valeur dynamiques, optimisés en temps réel, capables de s'auto-organiser au-dessus de l'échelon de l'entreprise et pouvant être optimisés selon divers critères – comme par exemple les coûts, la disponibilité et la consommation de ressources (Plateforme Industrie 4.0 2014 : 1). La vision représente donc l'efficacité à l'état pur, grâce au plus haut niveau de flexibilité et à la fluidité parfaite de la création de valeur.

Selon cette vision, les objets pourraient à l'avenir communiquer directement entre eux de façon autonome (voir illustration 3). Ils s'informeront mutuellement de ce qui doit advenir d'eux. En d'autres termes, les objets doivent pouvoir être lus par des machines ; même ceux qui ne sont pas encore dotés de composants électroniques auraient leur propre adresse IP. C'est ce que permet le nouveau protocole internet IPv6 qui offre un nombre beaucoup plus important d'adresses potentielles, avec en outre un cryptage et une vérification d'authenticité simplifiés. Demain, on pourrait ainsi lire une multitude de données sur chaque produit. Des capteurs et des actuateurs permettraient la lecture de ces données par scanner et leur diffusion et leur exploitation directe par ordinateur. Au fil de ce processus apparaît un internet des objets et des services dans lequel finissent par fusionner le monde physique et le monde virtuel pour former des systèmes cyber-physiques (Plateforme Industrie 4.0 2014).

Illustration 4  
Les perspectives de croissance offertes par l'industrie 4.0

Domaines économiques	Valeur ajoutée brute (en milliards d'euros)		Potentiel de l'industrie 4.0	Progression annuelle	Progression (en milliards d'euros)
	2013	2025*	2013 – 25	2013 – 25	2013 – 25
Industrie chimique	40,08	52,10	+30,0%	2,21%	12,02
Automobile et pièces détachées automobiles	74,00	88,80	+20,0%	1,53%	14,80
Constructions de machines et équipements	76,79	99,83	+30,0%	2,21%	23,04
Équipements électriques	40,72	52,35	+30,0%	2,21%	12,08
Agriculture et sylviculture	18,55	21,33	+15,0%	1,17%	2,78
Technologies de l'information et de la communication	93,65	107,70	+15,0%	1,17%	14,05
<b>Potentiel des 6 branches sélectionnées</b>	<b>343,34</b>	<b>422,11</b>	<b>+23,0%</b>	<b>1,74%</b>	<b>78,77</b>
Extrapolation à titre d'exemple pour l'ensemble de la valeur ajoutée créée en Allemagne	2.326,61	5.593,06**	+11,5%**	1,27%**	267,45**

\* Les extrapolations pour 2025 ne tiennent pas compte de la croissance économique. Il ne s'agit que d'une comparaison des potentiels sans et avec l'industrie 4.0 dans les six branches examinées.

\*\* Le total comprend les potentiels de l'industrie 4.0 pour les six branches examinées ainsi que l'extrapolation aux autres branches, à partir de l'hypothèse selon laquelle ces autres branches auraient un potentiel de progression de la valeur ajoutée brute moitié moins important que pour les six branches examinées.

Source : BITKOM/Fraunhofer IAO 2014: 36.

## 2.2 LES CONSÉQUENCES POUR LES ENTREPRISES ET LES BRANCHES

Le leitmotiv de ce que nous venons de décrire semble être que « tout ce qui peut être numérisé le sera ». Les scénarios d'évolution future vont donc extrêmement loin en la matière. Ils aboutissent en toute logique à des visions extrêmement différentes des changements induits par l'industrie 4.0 dans les entreprises et les branches, les économies nationales et les sociétés. Trois options sont envisageables (Stephan 2014) :

- 1 La perspective de rupture : l'industrie 4.0 permet l'émergence de modèles sociaux et de modèles de création de valeur entièrement nouveaux ;
- 2 La perspective de progrès : l'industrie 4.0 résout les problèmes d'aujourd'hui avec les technologies de demain ;
- 3 La perspective destructrice : l'industrie 4.0 n'est pas un phénomène nouveau et n'entraîne aucune démarche d'innovation.

On ne sait pas encore précisément dans quel sens va évoluer l'industrie 4.0. Or le débat actuel est surtout dominé par les adeptes des perspectives de rupture et de progrès. Ils soulignent les chances que représente cette évolution :

- La connexion en temps réel des processus industriels rendrait la production moins chère, ménagerait davantage les ressources et serait plus efficiente.
- La mise en réseau numérique permettrait d'intégrer directement les souhaits des clients et l'individualisation à moindres coûts des produits et des services.
- Le monde du travail pourrait aussi être organisé de façon plus humaine.

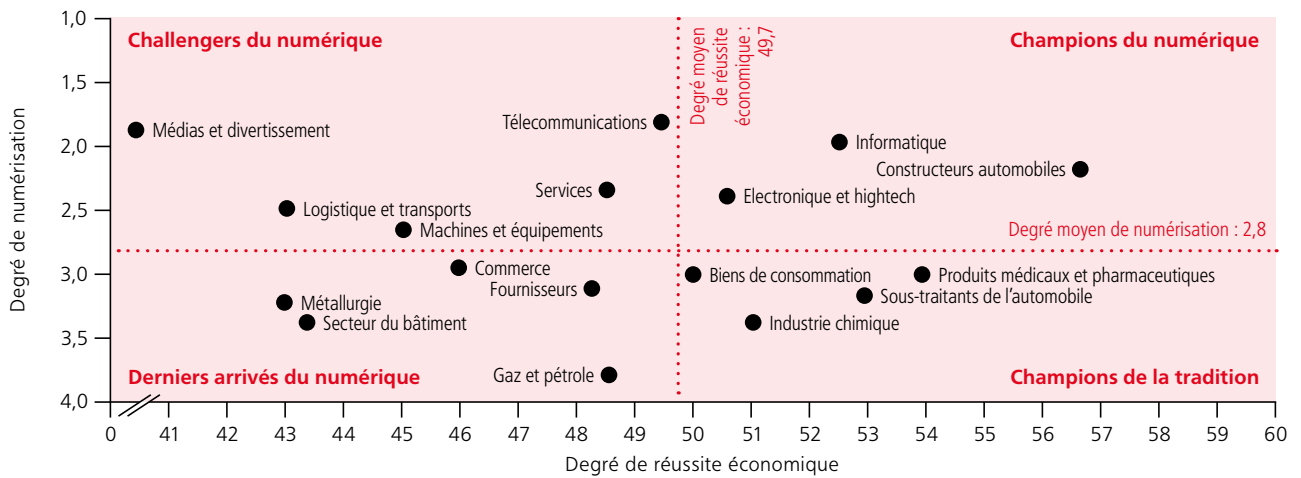
- En outre, l'industrie 4.0 représenterait un énorme potentiel pour de nouveaux produits, services et solutions susceptibles d'améliorer la vie quotidienne des personnes.

Ces attentes positives s'expriment aussi en termes de prévisions<sup>4</sup> et de besoins d'investissements : pour que l'Europe puisse demeurer une terre d'industrie importante, il faudrait que les entreprises consacrent à l'industrie 4.0 près de 1.350 milliards d'euros d'investissements au cours des 15 prochaines années dans l'ensemble de l'Europe. Cela représenterait tout de même 90 milliards d'euros par an (Roland Berger 2014 : 15). A cela s'ajouteraient les investissements publics afin d'accélérer par exemple le déploiement indispensable du haut débit.

Tout ceci représente évidemment un potentiel énorme pour les secteurs des TI et des TC. Les concepteurs et prestataires de solutions logicielles pour l'analyse des quantités massives de données, la connexion et la numérisation peuvent s'attendre à voir progresser leur chiffre d'affaires dans les prochaines années. D'autre part, il est probable que beaucoup d'autres branches commenceront très prochainement à ressentir l'impact des développements de l'industrie 4.0 : le secteur des constructions mécaniques et de l'équipement, les constructeurs d'équipements électriques, l'industrie chimique, les constructeurs automobiles (et les constructeurs de pièces détachées), mais aussi le secteur de la logistique et celui de l'agriculture. Dans une étude réalisée pour le compte de la fédération professionnelle BITKOM, l'institut Fraunhofer d'étude de l'organisation du travail (Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation – IAO) estime à près de 78 milliards d'euros les gains de productivité dans

<sup>4</sup> Cf. BITKOM / Fraunhofer IAO (2014), PwC (2014) et Staufen (2014).

Illustration 5  
Réussite économique et part du numérique par branche



Le degré de réussite économique est calculé sur la base de la croissance annuelle moyenne du chiffre d'affaires et de la rentabilité moyenne (mesurée en rentabilité des ventes et rendements des capitaux propres) sur la période 2008 – 2012 ; échelle : 100 = valeur maximale et 0 = valeur minimale. Le degré de numérisation est calculé sur la base des principaux domaines numériques - stratégie numérique, offre numérique et processus numériques - et d'autres critères secondaires ; échelle : 1 = en très grande partie numérisé, 2 = en partie numérisé, 3 = peu numérisé, 4 = simple début de numérisation. Toutes les valeurs sont calculées en valeurs moyennes non pondérées.

Source : Accenture 2014: 13.

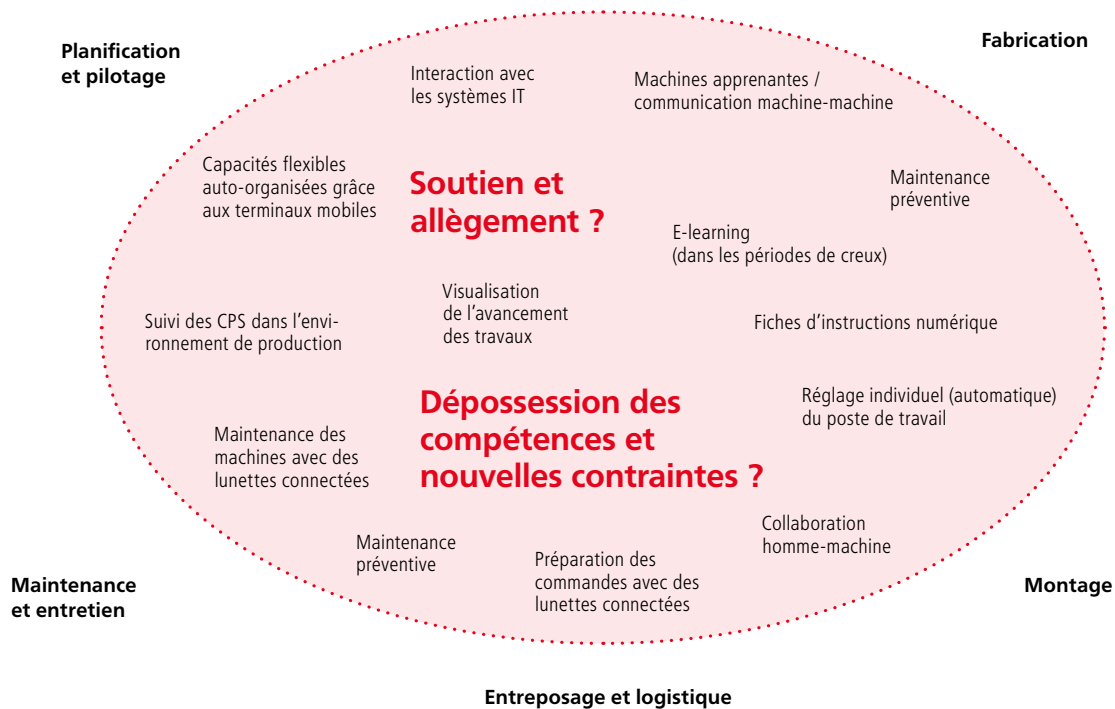
six branches et sur une période d'environ dix ans (cf. illustration 4). En moyenne, chaque branche pourrait réaliser 1,7% de valeur ajoutée brute supplémentaire par an (BITKOM / Fraunhofer IAO 2014).

Les chances pour les uns sont des risques pour les autres. De grandes entreprises industrielles de tradition pourraient ainsi très vite se retrouver dans un rôle de sous-traitants interchangeable si elles ne parvenaient pas à offrir à leurs clients des « services intelligents » sur mesure. Les processus « d'innovation ouverte » (Open Innovation), l'intégration des clients (finaux) dans la conception et la production ainsi que l'analyse ciblée de la masse de données, s'ils permettent l'émergence de nombreux nouveaux modèles d'activité, exercent aussi une pression massive sur les modèles existants. C'est également le cas en Allemagne, et notamment dans les branches les plus impliquées dans la réussite de « l'économie de marché coordonnée » (Hall / Soskice 2001), comme par exemple les constructeurs de machines-outils, d'équipements et de véhicules. Dans ces domaines, la vente de pièces détachées, les adaptations d'équipements et les services représentent une part importante du chiffre d'affaires. Pendant des années, les prestataires ont donc implanté un réseau dense de partenaires pour leurs points de vente, leurs centres d'entretien et leurs services après-vente, afin d'être le plus près possible des clients. Avec l'industrie 4.0, de tout nouveaux opérateurs pourraient, grâce à des logiciels intelligents capables d'analyser les données, remplacer les interfaces actuelles entre les fabricants et les clients : des prestataires de service qui proposeraient pour plusieurs marques l'entretien, la maintenance préventive et la fourniture rapide de pièces de rechange. Si l'on s'en tient à la thèse de la quatrième révolution industrielle, la place croissante du

numérique va donc changer beaucoup de choses. C'est d'ailleurs ce qui explique l'omniprésence de l'expression « Industrie 4.0 » dans les médias. Force est toutefois de constater que des pans entiers de la société ne se sont pas vraiment penchés de façon approfondie sur la question. A ce jour, le terme reste une notion plutôt technique à laquelle s'intéressent surtout les entreprises. Et même parmi celles-ci, le tableau est extrêmement contrasté – si l'on fait abstraction d'une avant-garde d'entreprises pionnières, la notion demeure jusqu'à présent plutôt abstraite pour la plupart des autres. Ainsi, alors que 92% des entreprises membres de la fédération de l'industrie allemande (BDI) considèrent que l'industrie 4.0 est le plus grand défi pour l'avenir, seules 12% d'entre elles se sentent prêtes à en relever le défi (Klein 2014).

Il suffit d'observer la place accordée au numérique pour le constater (cf. illustration 5). Elle varie encore considérablement entre les entreprises allemandes en fonction de leur branche d'activité et de leur taille (Accenture 2014 ; DZ Bank / GfK Enigma 2014). En forçant un peu le trait, on pourrait dire que plus une entreprise est grande, plus elle prend au sérieux l'enjeu du numérique. Cela signifie a contrario que de nombreuses petites et moyennes entreprises ont encore énormément de progrès à faire en la matière. Près de 70% des entreprises réalisant moins de cinq millions d'euros de chiffre d'affaires annuel déclarent que les technologies numériques ne jouent aujourd'hui qu'un rôle mineur, voire aucun rôle du tout dans leur création de valeur ajoutée. L'illustration 5 montre que ce sont surtout la métallurgie, la chimie, le bâtiment, mais aussi le commerce qui sont le plus à la traîne en matière de passage au numérique (Accenture 2014). Etant donné le manque d'engouement persistant pour les investissements en Allemagne, de

Illustration 6  
Cas d'application pratiques des interactions homme-machine



Source : Kurz 2014.

nombreuses études et analyses<sup>5</sup> attendent beaucoup de la quatrième révolution industrielle. Ainsi, seule près d'une entreprise sur cinq affiche aujourd'hui un degré élevé de recours au numérique – dans cinq ans (selon les dires des entreprises elles-mêmes), cela vaudra pour plus de 80% d'entre elles. On prévoit donc que d'ici à 2020, l'industrie allemande investira 40 milliards d'euros par an dans des solutions liées à l'industrie 4.0. Cela représenterait tout de même près de 3,3% de leur chiffre d'affaires (PwC 2014). L'étude identifie essentiellement trois vecteurs conduisant à ces niveaux d'investissement :

- 1 la possibilité de mieux contrôler les chaînes horizontales et verticales de création de valeur (gains de productivité de plus de 18% sur les cinq prochaines années) ;
- 2 La place croissante du numérique et de la connexion de leurs propres produits et services, qui contribuera à la préservation de la compétitivité – on pronostique des augmentations annuelles du chiffre d'affaires de l'ordre de 2% à 3%, soit 30 milliards d'euros supplémentaires par an ;
- 3 les nouveaux modèles économiques, avec l'augmentation des coopérations sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur ainsi que l'exploitation et l'analyse intégrées des données, qui permettraient de satisfaire les besoins les plus individualisés des clients.

## 2.3 L'INDUSTRIE 4.0 ET SES CONSÉQUENCES POUR LE MONDE DU TRAVAIL

Que signifient ces évolutions pour l'homme et la société ? Commençons par le monde du travail. On voit dès aujourd'hui se dessiner les tendances suivantes :

- 1 L'organisation du travail est de plus en plus flexible dans le temps et dans l'espace.
- 2 Les opérations sont de plus en plus numérisées et s'affranchissent de plus en plus des hiérarchies et du centralisme.
- 3 Les procédures gagnent en transparence.
- 4 De plus en plus de tâches routinières sont numérisées et automatisées (Cf. Münchner Kreis 2013 ; Picot / Neuburger 2014).

Si ce sont surtout les perspectives de progrès et de rupture qui, en soulignant les chances que représente l'industrie 4.0, domine le débat public jusqu'à maintenant, force est de constater que ses effets sur le marché du travail font nettement moins l'unanimité. La question au cœur de toutes les préoccupations est la suivante : la progression du numérique va-t-elle condamner au chômage les personnes travaillant dans les entreprises de production ? Il n'est pas encore possible d'apporter une réponse définitive à cette question, tant les analyses divergent et demeurent incertaines (voir illustration 6).

Il est en tout cas un point qui fait consensus : contrairement aux débats des années 1980, il ne s'agit plus

<sup>5</sup> Cf. par exemple Accenture (2014), DZ Bank / GfK Enigma (2014), BITKOM / Fraunhofer IAO (2014) ainsi que Roland Berger (2014), Staufien (2014) et PwC 2014.

Illustration 7

**Besoins de qualification dans l'industrie 4.0****Scénario de l'automatisation**

- Contrôle et pilotage par la technologie
- Le CPS dirige les salariés (essentiellement des exécutants)
- Salariés très qualifiés pour l'installation, la modification et la maintenance du CPS

**Salariés :**

Ouvriers qualifiés en général :



Ouvriers qualifiés spécialistes :



Salariés très qualifiés :

**Scénario de la spécialisation**

- Le CPS aide à la prise de décision
- Les salariés dirigent le CPS
- Persistance du rôle dominant du travail qualifié
- Teneur accrue du travail en information, organisation, mécatronique

**Salariés :**

Ouvriers qualifiés en général :



Ouvriers qualifiés spécialistes :



Salariés très qualifiés :



Source : Ganz 2014.

aujourd'hui de choisir entre l'homme et la machine. Il s'agit plutôt, dans la plupart des scénarios, de qualifier la relation entre l'homme et la machine (Kurz 2014 ; Ganz 2014) :

- 1 Le scénario de l'automatisation : Les systèmes pilotent les hommes. Les tâches de contrôle et de commande sont prises en charge par la technologie. Elle traite les informations et les répartit en temps réel. Les salariés sont dirigés par des systèmes cyber-physiques (CPS) et se chargent avant tout des tâches d'exécution. Les compétences des personnes peu qualifiées sont dévalorisées (Cf. illustration 7).
- 2 Le scénario hybride : Les tâches de contrôle et de commande sont assumées de façon coopérative et interactive par les technologies, les objets connectés et les personnes. Les attentes à l'égard des salariés augmentent, puisqu'ils doivent être beaucoup plus flexibles.
- 3 Le scénario de la spécialisation : Les hommes utilisent les systèmes. Le CPS est un outil qui facilite la prise de décision. Le rôle dominant du travail qualifié est préservé (Cf. illustration 7).

## CONSÉQUENCES À L'ÉCHELLE MACROÉCONOMIQUE POUR LE MARCHÉ DU TRAVAIL

Le numérique et l'industrie 4.0 vont modifier en profondeur le travail. L'automatisation va devenir possible pour des séries de plus en plus petites (taille de lot 1) – pourtant le travail

humain va rester une composante importante de la production. Ainsi, l'industrie 4.0 représente bien davantage que la seule connexion en réseaux. La collecte intelligente, le stockage et la diffusion intelligents de données par les objets et les personnes tiendront une place essentielle. Les tâches traditionnellement rattachées à la production ou à la connaissance se rapprocheront de plus en plus (Fraunhofer IAO 2013), rendant la réalisation d'un grand nombre d'opérations plus rationnelle et plus efficace, notamment grâce à l'apparition de nombreux dispositifs d'assistance. De la même manière, les processus administratifs et productifs vont poursuivre leur automatisation. Pour certaines tâches et certaines catégories professionnelles (notamment les plus qualifiées), ces évolutions vont offrir une multitude de possibilités pour organiser sa propre activité professionnelle, tant au niveau de sa réalisation dans le temps et dans l'espace que du point de vue du type d'activités et de l'accès à celles-ci.

On suppose que cela conduira à une polarisation de l'emploi, dans la mesure où l'industrie 4.0 va d'abord conduire à automatiser certaines activités relevant des niveaux médians de qualification et de rémunération et ainsi faire disparaître les emplois correspondants. Dans leur scénario, Frey et Osborne (2013) vont même nettement plus loin. Ils prévoient que près de la moitié de tous les emplois sur le marché du travail des Etats-Unis pourraient être impactés au cours des deux prochaines décennies. S'agissant de l'Allemagne, ce scénario ne semble pas très réaliste, car les systèmes de production et les profils de qualification y sont différents. En outre, les conséquences de l'industrie 4.0 pourraient être moins drastiques en

Illustration 8  
**Organisation polarisée ou organisation en essaim**



Source : Hirsch-Kreinsen 2014: 4.

Allemagne que dans d'autres pays, ne serait-ce que du fait de l'évolution démographique (et du risque de manque de main d'œuvre qualifiée).

La thèse de la polarisation (l'auteur / Acemoglu 2011) est plus convaincante pour le cas de l'Allemagne. Elle prévoit que les métiers qui sont aujourd'hui les moins et les plus qualifiés, moins facilement automatisables et s'appuyant davantage sur l'expérience et l'interaction, devraient prendre de l'ampleur. On pourrait voir apparaître davantage de nouveaux métiers (Picot / Neuburger 2014). Il est en outre probable que, le travail quittant de plus en plus les lieux de travail traditionnels, on observe une forte augmentation du « travail à distance » et du « travail sur le Cloud », effectué par des personnes moins bien payées, travaillant en freelance et bénéficiant d'une moindre protection sociale.

## CONSÉQUENCES SUR L'ORGANISATION DU TRAVAIL DANS LES ENTREPRISES

Qu'est-ce que cela signifie concrètement pour l'organisation du travail ? Hartmut Hirsch-Kreinsen (2014) recommande une réorganisation sociale et technique complète du système de production. À défaut d'une solution simple et homogène, c'est toute une gamme de nouvelles formes d'organisation qui pourrait émerger. Elle pourrait aller de l'organisation polarisée à l'organisation en essaim – ou adopter des variantes issues d'une conjugaison de ces deux modèles.

L'organisation polarisée s'appuie sur les tendances à l'hétérogénéisation des tâches, des qualifications et des emplois au sein de l'entreprise. Elle répond aux besoins des systèmes de production qui consistent à maintenir à la fois un nombre limité de tâches simples, n'offrant que peu ou pas de marge de manœuvre, et un groupe croissant ou émergent de salariés très qualifiés, de techniciens et de spécialistes, dont le niveau de qualification est nettement supérieur à celui des ouvriers qualifiés traditionnels. Ces salariés sont non seulement chargés des

tâches de maintien en fonctionnement (par exemple, gestion des pannes), mais assument aussi diverses tâches de gestion de la production (Hirsch-Kreinsen 2014).

À l'autre bout de l'échelle se trouve l'organisation en essaim. Cette forme d'organisation du travail se caractérise par un réseau plus souple de salariés très qualifiés et opérant tous sur un pied d'égalité. Dans cette forme d'organisation, on ne trouve pas (ou plus) de tâches simples et nécessitant peu de qualification, celles-ci ayant été en grande partie automatisées. Il n'existe pas de tâches définies pour chacun des salariés, mais un collectif de travail qui opère en s'auto-organisant de manière souple et en s'adaptant à chaque situation. L'organisation en essaim est donc une forme d'organisation qui se fonde sur l'usage explicite des processus sociaux informels de la communication et de la coopération, soulignant ainsi les compétences extra-fonctionnelles et la connaissance spécifique qu'ont les salariés des processus en jeu (Hirsch-Kreinsen 2014).

Dans chacun de ces scénarios, l'homme est, en tant que décideur – mieux informé –, au centre de l'activité (Cf. illustration 9). Cependant, sa dépendance à l'égard des données augmente également. C'est l'une des raisons pour lesquelles la sécurité et la protection des données revêtent une importance particulière. En outre, il faut impliquer dès le départ les salariés dans la réorganisation du travail issue de l'industrie 4.0 ; comme co-concepteurs et co-décideurs ; comme moteurs essentiels de l'innovation technique et sociale.

## 2.4 OÙ EN SOMMES-NOUS AUJOURD'HUI ?

Il est frappant de constater que de nombreuses publications consacrées à l'industrie 4.0 tournent essentiellement autour de l'internet des objets, des objets intelligents et des usines intelligentes. Pour le moment, on en est encore à examiner le phénomène « industrie 4.0 » sous l'angle de la technique. La



Illustration 9

**Conception des interactions homme-machine**

	<b>Les hommes utilisent les systèmes – Scénario de la spécialisation</b>	<b>Les systèmes dirigent les hommes – Scénario de l'automatisation</b>
<b>Teneur du travail</b>	Découpage intéressant des tâches et possibilités d'influer sur l'organisation et les objectifs	Découpage étroit des tâches avec un degré important de standardisation / pilotage commandé par d'autres
<b>Organisation du travail</b>	Opportunités de coopération élargie autour d'objectifs définis ensemble et participation	Responsabilité élevée avec des marges de manœuvre faibles
<b>Connexion</b>	Possibilité d'influer sur les standards et la coopération dans un contexte de transparence	Standards étroits imposés en l'absence de transparence dans un contexte de mise en réseau et d'utilisation du savoir
<b>Automatisation</b>	Décharge des activités contraignantes et sans intérêt	Objectif de l'automatisation : l'usine sans employés
<b>Qualification / compétences</b>	Association de l'apprentissage autour du poste de travail et développement de compétences transversales	Qualification sur le poste de travail exclusivement
<b>Données</b>	Accès aux informations et au savoir pour la résolution des problèmes ; séparation entre données personnelles et données techniques	Utilisation des données pour contrôler le comportement et la performance

Source : following Kurz 2014.

question de sa signification pour les hommes et la société dans son ensemble n'est encore abordée que de façon plutôt marginale. Pourtant, la progression du numérique ne va pas seulement impacter les machines, les usines et les branches professionnelles, mais aussi bouleverser les sociétés. Cette perspective appelle donc un examen plus approfondi de cette dimension particulière. Quels sont les risques – mais aussi les chances pour les innovations sociales et le progrès social ?

Une innovation sociale répond à un défi social. Elle propose une solution d'un nouveau type, plus efficace, plus durable et plus équitable que les pratiques antérieures. Elle présente un intérêt avant tout pour la société, plus que pour l'innovateur lui-même. En conséquence, ces solutions doivent toujours être élaborées en concertation avec leurs bénéficiaires, ou directement par leurs bénéficiaires au sein de la société. Une innovation sociale peut se présenter sous une multitude de formes – un principe, une loi, une organisation, un changement de comportement, un modèle d'activité, un produit, un processus ou une technologie. Dans la plupart des cas, les innovations sociales naissent d'une combinaison de ces divers éléments. Ainsi, avec le recul, de nombreuses innovations nous apparaissent aujourd'hui comme des innovations sociales : depuis l'imprimerie, en passant par l'assurance maladie, le droit de vote universel, les économies d'énergie ou le commerce équitable, jusqu'à internet. Il s'agit bien à chaque fois de solutions d'un nouveau genre qui ont eu un grand intérêt pour la société.

Les innovations sociales produisent d'autant plus d'effet qu'elles transcendent les systèmes. Les innovations techniques peuvent donc avoir une influence très positive sur la diffusion des innovations sociales. A l'inverse, les innovations techniques ne développent tout leur potentiel que lorsqu'elles sont associées à une innovation sociale. Dans ce contexte, une idée porteuse sur le plan microéconomique peut également donner naissance à un intérêt macroéconomique et à un

progrès social. C'est un aspect qu'il faut avoir particulièrement à l'esprit dans le cas de l'industrie 4.0. Nous devons donc veiller à ce que les dividendes de ce passage au numérique puissent être produits par le plus grand nombre possible et partagés par le plus grand nombre possible.

## 3

## DIX THÈSES SUR LA POLITIQUE DE L'INNOVATION POUR L'INDUSTRIE 4.0

Les potentiels d'innovation que représente l'avancée du numérique semblent donc immenses : au niveau technique, avec la fusion des biens et des services en objets et produits intelligents dont la fabrication pourra être à la fois plus rapide et davantage économe en ressources, en d'autres termes plus efficace ; au niveau de l'organisation, grâce à de nouvelles organisations des entreprises, de nouvelles formes d'emploi et de nouveaux modèles économiques ; au niveau social, par une meilleure conciliation entre le travail et la vie de famille, l'âge et le handicap (grâce à l'emploi de systèmes d'assistance intelligents).

Pour autant, ces évolutions sont aussi porteuses d'énormes risques – pour l'individu comme pour la société. Ainsi, la flexibilité peut aussi être synonyme de décrochage supplémentaire du travail, de nouvelle accélération, d'intensification du travail et de charge de stress supplémentaire ainsi que de nouveaux défis pour l'équilibre entre vie professionnelle et vie privée. De même, des domaines sensibles tels que la protection et la sécurité des données ou l'augmentation des moyens potentiels de contrôle effectué par les systèmes comportent encore un grand nombre de points d'interrogation. Dans ce contexte, quel peut être le rôle de la politique en matière d'innovation ?

### THÈSE 1 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DOIT FAVORISER LES SYSTÈMES

L'industrie 4.0 naît dans des systèmes, dans l'interaction entre des réseaux et de nombreux acteurs divers. Elle touche à une multitude de sujets : la protection et la sécurisation des données, les normes juridiques, sociales et techniques, les modèles économiques, l'organisation du travail. Les innovations techniques stimulent les innovations sociales – et vice versa. C'est parce qu'il faut trouver de nouvelles formes d'organisation que se créent de nouvelles technologies et de nouvelles techniques.

L'implication des opérateurs, des sous-traitants et des utilisateurs est de nature à accélérer le processus d'innovation, mais elle aide aussi à élaborer des normes. Ainsi, certains produits et services en lien avec l'industrie 4.0 sont développés dans le cadre de « l'innovation ouverte ». Cette évolution représente de nouveaux défis pour de nombreuses entreprises allemandes dans la mesure où elles sont traditionnellement plus habituées à gérer leur processus d'innovation en vase clos. C'est particulièrement vrai dans l'industrie manufacturière, dans laquelle les entreprises n'utilisent souvent que les idées et les compétences disponibles dans leur propre

domaine ou dans un réseau de partenaires connus et strictement intégrés.

Pour pouvoir subsister dans l'industrie 4.0, les entreprises et leurs salariés vont donc devoir développer davantage de « compétences d'interaction » (Howaldt / Beerheide 2010 : p. 358 et suivante). On entend par là la compétence et les capacités d'une organisation à mettre en œuvre efficacement « l'innovation ouverte ». Si ces processus d'innovation conduisent les produits et les services à dépasser de plus en plus le cadre d'une seule branche d'activité et se caractérisent par l'intégration de diverses technologies, leur développement requiert l'interaction en réseaux de compétences et de sources de savoir diverses. L'avancée du numérique permettra sans doute d'en codifier et d'en transmettre une plus grande part. Cela imposera de savoir associer ses propres compétences au savoir et à l'action complémentaires d'autres acteurs (Howaldt / Beerheide 2010).

La politique en faveur de l'innovation doit prendre en compte cet aspect des choses. Elle peut en effet aider, dans bien des domaines et des perspectives différentes, à s'adapter mieux et plus vite les uns aux autres et ainsi à apprendre les uns des autres. Elle peut encourager la réflexion en réseau, l'ouverture, l'échange, afin de renforcer également la « capacité d'absorption » des entreprises (Cohen / Levinthal 1990 ; Hirsch-Kreinsen 2010), à travers l'enseignement secondaire et supérieur, la formation initiale et continue, mais aussi par un soutien actif à la constitution de réseaux. Elle peut stimuler l'apprentissage collectif – en impliquant également des entreprises qui ne font pas beaucoup de recherche – afin que les nouvelles technologies et les nouveaux savoirs puissent être diffusés plus rapidement. Par l'intermédiaire de concours ou de mécanismes de financements incitatifs, la politique d'innovation peut promouvoir la mise en place d'associations autour de projets et de centres de compétences interdisciplinaires et soutenir le transfert de la recherche fondamentale vers le développement d'applications – à travers les laboratoires d'universités, les laboratoires vivants et les usines de démonstration (tels que le Campus WITTENSTEIN de l'industrie, « it's OWL »).

### THÈSE 2 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DOIT PORTER UN REGARD CRITIQUE SUR « L'OBSESSION DE LA HAUTE TECHNOLOGIE ».

Les innovations de haute technologie exercent un attrait particulier pour les milieux scientifiques, les entreprises, les responsables politiques et la société en général. Cet attrait

s'explique en théorie par le modèle de Romer de la théorie de la croissance endogène : selon ce modèle, la croissance est d'autant plus forte qu'un plus grand nombre de personnes travaillent dans le secteur de la recherche. Nombre d'analyses et d'approches politiques de l'innovation à travers le monde se sont depuis alignées sur cette logique. De façon synthétique, la formule peut se résumer ainsi : beaucoup aide beaucoup. En d'autres termes, il faut investir le plus possible en recherche et développement (R&D) puis miser sur la fonction manufacturière et le marché pour faire le reste. Néanmoins, les processus d'innovation ne fonctionnent pas de façon linéaire et ne se déroulent que rarement en cascade. S'il existe tout à fait des processus d'innovation induits par l'offre et fortement tirés par la haute technologie, on peut également observer quantité d'innovations davantage tirées par la demande, les clients, la connaissance pratique ou l'expérience des utilisateurs. En conséquence, la politique en matière d'innovation devrait compléter le soutien classique à la recherche dans les sciences techniques par une prise en compte beaucoup plus importante des sciences sociales.

Dans ces travaux de recherche, Hartmut Hirsch-Kreinsen (notamment Hirsch-Kreinsen 2010) attire l'attention sur le caractère hétérogène de la base des connaissances menant à des innovations et souligne l'importance – souvent sous-estimée – des savoirs pratiques pour le développement d'innovations dans de nombreuses branches industrielles et de nombreuses entreprises. À partir de ses réflexions critiques, il appelle les pouvoirs publics à s'affranchir de leur « obsession de la haute technologie » dans leurs politiques de soutien à l'innovation et à prendre davantage en compte la spécificité des processus d'innovation dans les secteurs à moindre intensité de recherche. L'industrie 4.0 a besoin des deux. Et sa réussite dépendra non seulement de sa « base scientifique », mais aussi des innovations induites par les applications et les clients. Nous devons donc commencer assez tôt à réfléchir à la manière d'organiser ces systèmes sociotechniques (par exemple choisir entre l'organisation polarisée et l'organisation en essaim) et leur environnement général – en impliquant le plus grand nombre possible d'utilisateurs et avec un accompagnement scientifique de ces processus.

### THÈSE 3 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DOIT MISER SUR LE PROGRÈS SOCIAL.

L'industrie 4.0 exige beaucoup de choses, surtout de la part des personnes. Elle peut réveiller de nombreux potentiels, et pas uniquement chez les plus qualifiés. Pour que la flexibilisation croissante ne souligne pas uniquement la part d'ombre du décloisonnement du travail, il est aussi nécessaire de miser davantage sur les innovations sociales. Combiner des systèmes d'assistance technique faciles à utiliser, des pratiques sociales nouvelles et une meilleure interconnexion entre les divers services pourrait aussi ouvrir une fenêtre d'opportunité pour plus de progrès social : participation et intégration sociale, croissance inclusive et plus grande compatibilité entre vie professionnelle d'une part et famille, soins aux personnes dépendantes, vieillesse et handicap d'autre part.

Les innovations sociales naissent souvent du dialogue. C'est pourquoi le dialogue avec la société doit faire partie intégrante de la recherche et de l'innovation. C'est à cette condition qu'il pourra préparer la société à accepter les technologies et encourager sa disposition à en assumer les risques. Si l'on prend au sérieux l'idée selon laquelle l'innovation passe par la participation, il faut s'attacher non seulement aux évolutions technologiques et à leur intégration dans le monde dans lequel nous vivons, mais aussi au reste de leur environnement général, c'est à dire à des domaines comme la protection des données, les droits d'auteur, le droit de la concurrence et le droit de la propriété industrielle. Dans ces domaines, il faut réfléchir très tôt à l'adaptation du cadre juridique général aux nouvelles évolutions technologiques, aux nouvelles pratiques sociales et aux nouveaux modèles économiques. Bien entendu, il est aussi nécessaire d'encourager le dialogue dans les entreprises. À cet égard, il incombe aux directions d'entreprises et aux directions de projets de veiller à la mise en place d'un environnement participatif, dans lequel les propositions et suggestions des salariés sont prises en compte dans la réflexion. Il ne faut pas sous-estimer le potentiel de motivation et d'encouragement d'un développement personnel bien ciblé et d'une culture d'entreprise adéquate : ce sont des stimuli importants pour la réussite des processus d'innovation. Ainsi les personnes touchées par l'industrie 4.0 en deviennent les co-concepteurs constructifs et sont susceptibles de faire progresser et d'accélérer la diffusion du phénomène dans d'autres domaines de la société.

### THÈSE 4 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DEVRAIT SURTOUT L'ENVISAGER COMME UNE INNOVATION SOCIALE.

Les innovations sociales jouent un rôle déterminant pour qu'une invention technique (une découverte) devienne une innovation largement diffusée (selon la distinction faite par Schumpeter). Elles influent d'autre part sur les moyens et canaux de sa diffusion et sur l'effet qu'elle produit (Franz 2010 : 336). Une innovation sociale est une reconfiguration ciblée des pratiques sociales, dont l'objectif est de mieux résoudre les problèmes ou de mieux satisfaire les besoins que ne le permettaient les pratiques antérieures (Howaldt et al. 2008 : 65) et ainsi de contribuer au progrès social.

Mieux : pour qui ? Ici apparaît un autre sous-texte de la définition, à savoir sa charge normative. Dans cette acception, une innovation n'est sociale que si elle est socialement acceptée, largement diffusée dans la société ou dans certains pans de la société et devient finalement institutionnalisée ou banalisée comme nouvelle pratique sociale (Howaldt et al. 2008 : 65 ; Zapf 1989 : 177). L'industrie 4.0 doit encore apporter la preuve de son utilité pour la société. Ce n'est qu'à partir du moment où les développements en lien avec l'industrie 4.0 déploieront leur valeur ajoutée pour la société (par exemple « un travail de qualité » ou une nouvelle qualité du travail) et donc à partir du moment où se seront installées des pratiques sociales « meilleures pour l'homme » – côté demande, en tant que consommateur, mais aussi côté offre, en tant que salarié des usines intelligentes de demain – que sera effectivement remplie la double caractéristique d'une

innovation sociale. Car il faut que l'industrie 4.0 ne soit pas comprise et définie uniquement comme une innovation technique, mais aussi comme une innovation sociale, pour qu'on puisse formuler des réponses aux bouleversements profonds qu'elle suscitera.

### THÈSE 5 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DOIT CONSOLIDER LE « MODÈLE ALLEMAND » (D'UNE ÉCONOMIE DE MARCHÉ COORDONNÉE).

On doit à la recherche comparée sur le capitalisme (notamment Hall / Soskice 2001) la prise de conscience par certaines parties du monde de la recherche du fait que l'économie de marché libérale anglo-américaine n'est pas la seule à pouvoir fonctionner efficacement. Les économies de marché coordonnées le sont également, dès lors qu'elles se recentrent sur leurs atouts (les complémentarités institutionnelles). C'est une réalité cruciale pour l'industrie 4.0. Pendant des années, on a considéré l'Allemagne comme le prototype d'une économie de marché coordonnée : les entreprises peuvent s'en remettre à une relation de confiance, inscrite dans la durée, avec leurs salariés, leurs fournisseurs et leurs partenaires de développement. Elles emploient plus de « capitaux patients » que leur concurrents étrangers et sont donc particulièrement fortes dans les branches dans lesquelles l'innovation se fait surtout par incréments (par exemple dans les constructions mécaniques et les équipements). Elles coordonnent leurs activités en réseaux. Cette « culture de la coopération » s'appuie notamment sur la puissance des fédérations des branches, sur les négociations salariales par secteurs, sur la codétermination, la formation professionnelle initiale et continue en alternance. La politique doit accompagner de façon constructive cette « culture de la coopération » et la renforcer, promouvoir les réseaux et la coopération et, surtout, fournir un environnement général adéquat : des infrastructures (par exemple l'extension de réseaux à très haut débit très accessibles et rapides, des voies de transport et de communication) et des établissements d'enseignement et de recherche de haut niveau.

### THÈSE 6 QUI ENCOURAGE LA TECHNOLOGIE DOIT PENSER À L'HUMAIN.

L'internet des objets, des données et des services va faire fusionner l'univers physique avec l'univers numérique (Forschungsunion 2013). Les services du web et l'économie du savoir vont jouer un rôle de plus en plus important. Le savoir est souvent d'abord un savoir pratique : c'est « l'apprentissage par la pratique » et « l'apprentissage par l'expérience ». Les hommes sont les vecteurs de ce savoir et les moteurs de l'innovation. Dans ce contexte, une première question s'impose : quelles sont les compétences dont a besoin l'homme dans l'industrie 4.0 ? Mais aussi : comment l'homme peut-il tirer profit de l'industrie 4.0 ?

Si l'on s'en tient à la thèse de la polarisation, les hommes pourraient surtout profiter du fonctionnement intuitif des systèmes cyber-physiques. La conception devient un moteur de l'innovation. En outre, la formation initiale, la formation

continue et les qualifications gagnent en importance. En la matière, il s'agit aussi de former à la responsabilité pour pouvoir assumer des risques. Cela signifie aussi apprendre notamment par les expériences, l'application et la recherche, la prise de risque et éventuellement l'échec – à la suite duquel de nouvelles chances doivent être accordées. Dans une telle culture de coexistence participative, on peut volontiers revendiquer l'apprentissage tout au long de la vie, par le développement personnel et la promotion sociale – y compris dans le système scientifique. Cette évolution implique aussi un meilleur financement de base de l'enseignement supérieur, des carrières dans les sciences qu'il s'agira de rendre plus attrayantes (avec des perspectives, des postes de titulaires), une promotion de la mobilité (internationale) des chercheurs et des inventeurs et l'échange de personnels entre le monde de la recherche et le monde des entreprises.

### THÈSE 7 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DOIT S'APPUYER SUR L'EUROPE.

A travers le nouveau programme cadre pour la recherche (Horizon 2020), la Commission européenne et le Parlement européen essayent aussi de soutenir la (ré)industrialisation de l'Europe. Il paraît donc souhaitable de développer des solutions systèmes en réseaux européens, pour pouvoir aspirer à une position encore plus forte dans le monde. L'Europe pourrait devenir un marché porteur pour l'industrie 4.0. C'est un marché délimité au plan géographique et qui encourage les innovations en mettant en place un environnement favorable et des préférences locales. Les prestataires les plus performants y rencontrent des utilisateurs critiques et des attentes diverses. Il ne s'agit pas de tout réinventer, mais de faire beaucoup de choses en commun. Car alors, tous bénéficient de la confrontation à un nombre plus important de cas qui se présentent dans les projets de recherche et d'application à l'échelle européenne, accumulent davantage d'expérience, apprennent les uns des autres et élaborent des normes communes - y compris en matière de protection et de sécurité des données (par exemple à travers les « infrastructures européennes du Cloud », « le marché intérieur numérique » ou le cadre juridique européen). L'industrie 4.0 est un point de rencontre de deux régimes différents de normalisation : l'un tiré du puissant secteur américain des technologies de l'information ; l'autre, davantage européen, et qui s'est surtout imposé dans les constructions mécaniques, les équipements et la construction automobile. La véritable question est donc de savoir lequel de ces régimes va s'imposer dans l'industrie 4.0.

Dans le doute, c'est la taille du marché qui décide. L'Europe est (encore) une importante terre d'industrie. Mais il faut dire que près de 800 millions de personnes y vivent – à eux seuls, les 28 pays membres de l'UE représentent déjà 500 millions d'Européens. C'est pourquoi l'Europe doit se concentrer sur ses atouts – tout en augmentant le rythme et l'intensité de ses efforts – pour occuper rapidement le terrain en étant pionnière dans les domaines les plus importants. L'intégration économique reste l'une des forces essentielles de l'Europe. On peut s'appuyer sur cet atout et en particulier sur la taille du marché européen. Il s'agit en réalité d'un énorme avantage quand on veut définir des normes et des standards. Mais trop souvent,

on ne saisit pas ces chances – trop souvent, les opérateurs ne suivent que leurs intérêts nationaux à court terme. Par ailleurs, les directives européennes laissent toujours une marge de manœuvre importante aux législations nationales (Enderlein / Pisani-Ferry 2014 : p. 41 et suivante). Cela conduit à une fragmentation. Avoir des standards communs, des normes et des règles communes pourrait contribuer considérablement au progrès de l'intégration positive et de la cohésion ; et donc à plus de croissance et de progrès social.

### THÈSE 8 QUI VEUT L'INDUSTRIE 4.0 DOIT MÏSER SUR LA PROTECTION ET LA SÉCURITÉ DES DONNÉES.

« Les données numériques sont les principales matières premières de l'avenir » (Forschungsunion 2013). La protection et la sécurité des données dans un monde numérique constituent donc des missions prioritaires pour la politique allemande de la recherche et de l'innovation. Mais la sécurité et la recherche sur la sécurité ne concernent pas uniquement les sujets relevant des technologies. Elles intéressent plus généralement la politique sociale, dont l'importance couvre tous les champs d'action (Bornemann 2014 ; Renn 2014). Ainsi, la sécurité et la protection des données commencent d'abord à l'échelle individuelle, dans la mesure où chacun doit avoir à gérer ses (propres) données de manière réfléchie et compétente – et recourir à une protection technique et juridique adéquate. A ce titre, l'aspect sécuritaire doit être pris en compte comme un élément fondamental dès la planification des produits, des modèles économiques et des formations. On peut citer à titre d'exemple la problématique de « la petite porte ». En la matière, il incombe avant tout aux « facilitateurs génériques » des plateformes de l'industrie 4.0 de veiller à ne laisser ouverte aucune « petite porte » qui permette l'espionnage informatique. On pourrait par exemple imaginer que l'Office fédéral en charge de la sécurité informatique, ou une autorité de régulation européenne, mette en place une certification des produits et services « garantis sans petite porte » – et peut-être ainsi induire de nouvelles innovations techniques. Il nous faut des normes et des règles européennes communes en la matière : pour la protection des données dans les entreprises, la protection des droits d'auteur, le respect de la vie privée, le « droit à l'oubli », et bien davantage encore (Enderlein / Pisani-Ferry 2014). Au total, la politique peut apporter un soutien constructif aux développements dans les domaines de la protection et de la sécurité des données, par exemple par des mesures incitatives, des aides au développement et à l'acquisition de solutions de sécurité, ou par l'établissement de normes juridiques (par exemple un règlement général sur la protection des données) ; mais aussi en développant des programmes d'information et d'éducation dès l'école.

### THÈSE 9 QUI VOIT LES CHOSES EN GRAND (INDUSTRIE 4.0) DOIT SURTOUT PENSER AUX PETITS.

Jusqu'à présent, ce sont surtout les grandes entreprises qui s'intéressent à l'industrie 4.0 et s'impliquent dans le projet.

Mais 99,6% des entreprises allemandes sont des petites et moyennes entreprises (PME) (IfM 2014). On peut constater que les PME investissent moins que les grandes entreprises dans la recherche et le développement. Elles déposent moins de brevets et développent moins d'innovations technologiques (Maaß / Führmann 2012). En revanche, elles coopèrent beaucoup et sont très représentées dans l'industrie où elles font surtout office de modernisatrices (par des innovations dans les processus). Les PME représentant à la fois l'offre et la demande, elles sont déterminantes pour la diffusion des nouvelles technologies et des nouvelles pratiques de l'industrie 4.0.

La question est dès lors de savoir comment impliquer davantage de petites et moyennes entreprises. Tout d'abord, la politique en faveur de l'innovation pourrait encourager l'emploi des TIC – par les acquisitions directes ou indirectes ou par des programmes de formation initiale ou continue. La cybersécurité (cf. thèse 8 ci-dessus) semble notamment très prometteuse pour le soutien de la demande comme de l'offre. En outre, le soutien à la normalisation semble souhaitable. Les entreprises allemandes y sont traditionnellement fortes et jouent un rôle de leader au plan mondial par leur engagement au sein de l'ISO et des autres comités de normalisation. Mais les normes relatives aux TIC sont souvent élaborées en dehors de ces comités. Les fédérations professionnelles devraient donc exercer une veille attentive des normes et des standards. De son côté, la politique pourrait encourager les entreprises à participer aux travaux des instances pertinentes pour la normalisation des TIC. L'industrie 4.0 offre l'occasion de réunir des PME de diverses branches. Dans la mesure où les secteurs utilisant les TIC (constructions mécaniques, construction automobile, etc.) ont été ceux qui se sont le plus impliqués et qui sont traditionnellement dotés de fédérations professionnelles et de réseaux puissants, il serait judicieux de saisir cette opportunité pour transmettre ces atouts à d'autres secteurs (TIC, services), ce qui pourrait fortement aider à définir les normes dans ces secteurs.

### THÈSE 10 QUI VEUT DES INNOVATIONS SYSTÉMIQUES DEVRAIT ENCOURAGER LA COORDINATION.

Les innovations systémiques telles que l'industrie 4.0 se caractérisent par l'interaction d'innovations technologiques et d'innovations sociales. Elles constituent donc un point de rencontre entre les aspects technologiques et sociaux et permettent une approche plus globale et plus intégrée des processus d'évolution. Cette conception holistique de l'innovation appelle donc une vision plus globale de la politique en faveur de l'innovation. Cela englobe les questions du financement de la recherche, du transfert des connaissances du monde scientifique vers les entreprises, mais aussi la promotion d'une politique sociale moderne et participative, l'efficacité du système scientifique, l'internationalisation, l'établissement de nouveaux modèles économiques, la recherche dans les services, l'organisation future du monde du travail et l'adoption des nouvelles technologies par la société (Forschungsunion 2013). La politique allemande en faveur de l'innovation se concentre traditionnellement sur le soutien à l'innovation



technique, en misant essentiellement sur l'offre (c'est ce que l'on appelle le « Technology Push »). Elle devrait pourtant davantage faire confiance à la demande et soutenir le développement d'innovations sociales. C'est seulement ainsi que de bonnes idées techniques peuvent s'imposer très largement dans notre quotidien et contribuer au progrès social, par exemple en favorisant une moindre consommation des ressources, plus de qualification, de formation continue et de « travail de qualité », une meilleure compatibilité entre vie familiale et vie professionnelle. Afin de permettre l'éclosion d'une politique d'innovation sociale, l'innovation technologique (industrie 4.0 / numérique) doit être accompagnée d'une approche politique systémique qui assimile et intègre les contributions importantes d'autres politiques. Dans cette optique, davantage de coordination est nécessaire – par delà les limites de compétences des ministères (notamment ceux de l'Economie, de l'Enseignement et de la Recherche, des Transports et de l'Infrastructure numérique, de l'Intérieur, du Travail et des Affaires sociales, de la Santé, de la Famille, des Seniors, des Femmes et de la Jeunesse) et les échelons politiques (Buhr 2014). Comme dans les entreprises, rapidité et réactivité sont à l'ordre du jour. Pour autant, toute agitation et bataille de compétences est à proscrire ; seule une démarche coordonnée, concertée et découlant d'une stratégie précise permettra au contraire la diffusion la plus large possible du numérique dans la société.



## 4

## CONCLUSION

A l'avenir, les entreprises mettront en réseau leurs machines, leurs systèmes de stockage, leurs outils, leurs salariés, leurs sous-traitants et leurs partenaires, mais aussi leurs clients dans des systèmes sociotechniques (des systèmes cyberphysiques) à l'échelle mondiale. Pour l'industrie 4.0, il y a là un potentiel énorme : il deviendra possible de prendre en compte les désirs individuels des clients et même de produire de façon rentable des pièces uniques ; la production sera plus rapide et plus flexible ; on diminuera la consommation des ressources et on augmentera la productivité. La productivité des salariés pourrait également s'en trouver accrue. Des modes de travail flexibles leur permettraient de mieux concilier vie professionnelle et vie familiale, dans le temps, mais aussi dans l'espace. Il est en effet tout à fait concevable que certaines parties de la production s'installent (de nouveau) en Allemagne et puissent être localisées dans les zones urbaines.

Même si le sujet est abordé jusqu'ici essentiellement sous l'angle de la technique, l'homme fait partie de l'industrie 4.0, décentralisée et auto-organisée. Cependant, son travail est appelé à beaucoup évoluer dans de nombreux domaines. Les tâches vont devenir plus complexes, les réseaux de création de valeur plus dynamiques. Cela exige beaucoup de flexibilité. De nouveaux outils d'apprentissage devront être employés – systèmes d'assistance, robots, e-learning.

L'industrie 4.0 nécessite davantage de savoir issu de l'expérience et de réflexion en réseau. Les machines fonctionnent bien dans la fabrication standardisée et assistent les hommes pour que ceux-ci puissent préparer et prendre de meilleures décisions. Pour schématiser : les hommes posent de meilleures questions – et les machines doivent les aider à trouver de meilleures réponses. Cette configuration confère aussi un rôle central au travail de conception (par exemple pour la mise au point de commandes intuitives) et de communication (interne et externe).

Ainsi, l'industrie 4.0 offre un potentiel important pour le numérique dans les innovations, les nouveaux services et les nouveaux modèles économiques. Elle pourrait offrir des chances particulières aux start-ups et aux créations d'entreprises. Parmi les formes d'entreprises existantes, c'est peut-être justement « l'entrepreneur » qui exprime le mieux l'avantage compétitif de l'homme par rapport aux machines (Bertelsmann Stiftung 2014 : 6).

Quelles sont les missions que doit assumer la politique en faveur de l'innovation ? Elles sont nombreuses. Selon l'indice d'observation de l'industrie 4.0, les trois quarts des entreprises interrogées déplorent le manque de soutien approprié de la part des politiques (Staufen 2014 : 11). Il faut donc agir. Dans ce cadre, les responsables politiques doivent cependant s'efforcer de promouvoir aussi bien les innovations techniques

que les innovations sociales – en envisageant toute la gamme complète des possibilités, tant du côté de l'offre que du côté de la demande. Pour ce faire, il est nécessaire d'avoir une compréhension systémique de la politique en faveur de l'innovation, qui intègre également une stratégie et une mise en œuvre coordonnée, afin que l'innovation technologique devienne aussi une innovation sociale et puisse apporter une contribution importante à l'émergence d'un progrès social.

Concrètement, la politique fait face à une multitude d'objectifs : elle peut stimuler le savoir collectif – en impliquant également les entreprises à faible intensité de recherche – pour que les nouvelles technologies et le nouveau savoir puissent se diffuser plus rapidement. La politique en faveur de l'innovation peut aussi utiliser des concours et des mécanismes de financements incitatifs pour favoriser la création d'alliances autour de projets et de centres de compétences interdisciplinaires et ainsi soutenir le transfert de la recherche fondamentale vers le développement d'applications – via les laboratoires d'universités, les laboratoires vivants et les usines de démonstration. Ce type de mesure favorise la communication et la coopération et prépare un terrain fertile pour les innovations sociales et techniques. Ces innovations sont avant tout nécessaires dans les domaines de la sécurité et de la protection des données. La politique en faveur de l'innovation pourra partir de l'offre et de la demande, par des acquisitions directes ou indirectes, de l'information, des centres de certification, le développement d'infrastructures plus sûres, la formation initiale et continue, etc. En outre, il faut voir dans l'Europe une chance pour l'industrie 4.0. C'est un marché porteur qui a le potentiel pour définir des normes mondiales, y compris en matière de protection et de sécurité des données (par exemple via des « infrastructures européennes du Cloud » ou la définition d'un cadre juridique européen).

Néanmoins, l'industrie 4.0 doit encore apporter la preuve de son utilité pour la société. Les potentiels de l'industrie 4.0 ne seront reconnus et utilisés que lorsque les évolutions qui en découlent constitueront une valeur ajoutée pour la société, avec l'implantation de nouvelles techniques, de nouvelles règles, de nouveaux services et de nouveaux modes d'organisation en mesure d'être considérés comme « meilleurs pour l'homme ». Pour y parvenir, une coordination rapide et une politique proactive seront nécessaires; une politique qui soutient et qui exige, qui fixe des règles claires, mais qui investit dans l'avenir en faisant preuve d'audace.

# Littérature

- Acatech; Arbeitskreis Smart Service Welt 2014: Smart Service Welt: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft, Berlin.
- Accenture 2014: Neue Geschäfte neue Wettbewerber: Deutschlands Top 500 vor der digitalen Herausforderung, Kronberg i.T.
- Acemoglu, Daron; Autor, David 2011: Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings, National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper 16082, Cambridge.
- Bertelsmann Stiftung 2014: Arbeit in der digitalen Welt: Jobless Growth und Cloudworking, Policy Brief 2014/03, Gütersloh.
- Bornemann, Dagmar 2014: Industrie 4.0: Vermessen und funktional – aber nicht revolutionär, Impulse, Managerkreis der Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin.
- Brynjolfsson, Erik; McAfee, Andrew 2014a: The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, New York.
- Brynjolfsson, Erik; McAfee, Andrew; Spence, Michael 2014b: New World Order: Labor, Capital, and Ideas in the Power Law Economy, in: Foreign Affairs 93 (4), S. 44–53.
- Buhr, Daniel 2014: Soziale Innovationspolitik, WISO Diskurs, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn.
- Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM); Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) 2014: Industrie 4.0: Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin; Stuttgart.
- Cohen, Wesley M.; Levinthal, Daniel A. 1990: Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation, in: Administrative Science Quarterly 35 (1), S. 128–152.
- DZ Bank; GfK Enigma 2014: Umfrage in mittelständischen Unternehmen zum Thema Digitalisierung: Bedeutung für den Mittelstand, Frankfurt a. M.; Wiesbaden.
- Enderlein, Hendrik; Pisani-Ferry, Jean 2014: Reformen, Investitionen und Wachstum: Eine Agenda für Frankreich, Deutschland und Europa, Berlin.
- Forschungsunion 2013: Perspektivenpapier der Forschungsunion: Wohlstand durch Forschung – Vor welchen Aufgaben steht Deutschland?, Berlin.
- Forschungsunion; Acatech 2013: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Essen; Frankfurt a. M.; München.
- Franz, Hans-Werner 2010: Qualitäts-Management als soziale Innovation, in: Howaldt, Jürgen; Jacobsen, Heike (Hrsg.): Soziale Innovation: Auf dem Weg zu einem postindustriellen Innovationsparadigma, Wiesbaden, S. 335–354.
- Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) 2013: Produktionsarbeit der Zukunft: Industrie 4.0, Stuttgart.
- Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael O. 2013: The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?, Oxford.
- Ganz, Walter; Fraunhofer IAO 2014: Welche Rolle spielen die Dienstleistungen in der Industrie 4.0? Präsentation anlässlich des FES-Fachgesprächs Industrie 4.0, 8.10.2014, Berlin.
- Hall, Peter A.; Soskice, David 2001: An Introduction to Varieties of Capitalism, in: Hall, Peter A.; Soskice, David (Hrsg.): Varieties of Capitalism: The Institutional Foundations of Comparative Advantage, Oxford, S. 1–68.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut 2014: Welche Auswirkungen hat « Industrie 4.0 » auf die Arbeitswelt?, WISO direkt, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn.
- Hirsch-Kreinsen, Hartmut 2010: Die ‚Hightech-Obsession‘ der Innovationspolitik, in: Howaldt, Jürgen; Jacobsen, Heike (Hrsg.): Soziale Innovation: Auf dem Weg zu einem postindustriellen Innovationsparadigma, Wiesbaden, S. 71–86.
- Howaldt, Jürgen; Beerheide, Emanuel 2010: Innovationsmanagement im Enterprise 2.0: Auf dem Weg zu einem neuen Innovationsparadigma?, in: Howaldt, Jürgen; Jacobsen, Heike (Hrsg.): Soziale Innovation: Auf dem Weg zu einem postindustriellen Innovationsparadigma, Wiesbaden, S. 355–370.
- Howaldt, Jürgen; Kopp, Ralf; Schwarz, Michael 2008: Innovationen (forschend) gestalten: Zur neuen Rolle der Sozialwissenschaften, WSI Mitteilungen 2/2008, S. 63–69.
- Institut für Mittelstandsforschung (IfM) 2014: Informationen zum Mittelstand aus erster Hand, Bonn.
- Klein, Michael; Acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) 2014: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Präsentation anlässlich des FES-Fachgesprächs Industrie 4.0, 21.5.2014, Berlin.
- Kurz, Constanze 2014: Mensch, Maschine und die Zukunft der Industriearbeit, Vortrag auf der Fachkonferenz Münchner Kreis « Maschinen entscheiden: vom Cognitive Computing zu autonomen Systemen », 21.11.2014, München.
- Maaß, Frank; Führmann, Bettina 2012: Innovationstätigkeit im Mittelstand: Messung und Bewertung, in: Institut für Mittelstandsforschung Bonn (Hrsg.): IfM-Materialien Nr. 212, Bonn.
- Münchner Kreis 2013: Innovationsfelder der digitalen Welt: Bedürfnisse von übermorgen, Zukunftsstudie Münchner Kreis Band V, München.
- Picot, Arnold; Neuburger, Rahild 2014: Arbeit in der digitalen Welt: Zusammenfassung der Ergebnisse der AG 1-Projektgruppe anlässlich der IT-Gipfelprozesse 2013 und 2014, Hamburg; München.
- Plattform Industrie 4.0 2014: Industrie 4.0: Whitepaper FuE-Themen, [http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Whitepaper\\_Forschung%20Stand%203.%20April%202014\\_0.pdf](http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf) (12.3.2015).
- PricewaterhouseCoopers (PwC) 2014: Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution, München; Frankfurt a. M.
- Renn, Ortwin 2014: Das Risikoparadox: Warum wir uns vor dem Falschen fürchten, Frankfurt a. M.
- Roland Berger 2014: INDUSTRY 4.0: The New Industrial Revolution: How Europe Will Succeed, München.
- Staufen 2014: Deutscher « Industrie 4.0 » Index: Auf dem Weg zur Fabrik der Zukunft, Köngen.
- Stephan, Peter 2014: Industrie 4.0: Auswirkungen auf die Arbeitswelt aus Sicht eines Anwenders, Präsentation anlässlich des FES-Fachgesprächs Industrie 4.0, 12.11.2014, Berlin.
- Zapf, Wolfgang 1989: Über soziale Innovationen, in: Soziale Welt, 40 (1–2), S. 170–183.

## Table des illustrations

- 6 Illustration 1  
**Scénarios d'application (Use cases) de l'industrie 4.0**
- 7 Illustration 2  
**La révolution industrielle – phases 1 à 4**
- 7 Illustration 3  
**Les moteurs de l'industrie 4.0 – et leurs conséquences**
- 8 Illustration 4  
**Les perspectives de croissance offertes par l'industrie 4.0**
- 9 Illustration 5  
**Réussite économique et part du numérique par branche**
- 10 Illustration 6  
**Cas d'applications pratiques des interactions homme-machine**
- 11 Illustration 7  
**Besoins en qualification dans l'industrie 4.0**
- 12 Illustration 8  
**Organisation polarisée ou organisation en essaim**
- 13 Illustration 9  
**Conception des interactions homme-machine**

## Table des abréviations

CPS	Cyber-Physical System (système cyber-physique)
R&D	Recherche et Développement
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
IP	Protocole Internet (protocole réseau, le fondement d'internet ; il fournit à chaque ordinateur une adresse propre au sein du réseau et permet ainsi de lui transférer des données)
TI	Technologies de l'Information
Code QR	Quick-Response-Code (méthode d'enregistrement des informations permettant une identification et une lecture particulièrement rapide par des machines)
Approche HTO	Analyse fonctionnelle d'ensemble intégrant l'Humain, la Technique et l'Organisation
RFID	Radio-Frequency Identification (Identification par ondes électromagnétiques)
TC	Technologies des Télécommunications









Mentions légales:

© 2015

**Friedrich-Ebert-Stiftung**

Editeur: département politique économique et sociale  
Godesberger Allee 149, 53175 Bonn  
Fax 0228 883 9205, [www.fes.de/wiso](http://www.fes.de/wiso)

Commandes/contact: [wiso-news@fes.de](mailto:wiso-news@fes.de)

L'opinion exprimée dans cette publication ne reflète pas nécessairement la position de la Friedrich-Ebert-Stiftung. Sans autorisation préalable écrite de la FES, toute utilisation commerciale des publications de la FES est interdite.

**ISBN: 978-3-95861-299-0**

Illustration: © godruma – Fotolia.com

Mise en page: [www.stetzer.net](http://www.stetzer.net)

Impression: [www.bub-bonn.de](http://www.bub-bonn.de)

