HAL
open science

FUTURPROD - Les systèmes de production du futur

Marc Aurousseau, Eric Ballot, Alain Bernard, Daniel Brissaud, Sandrine Caroly, Yannick Frein, Bernard Grabot, Valérie Rocchi

To cite this version:

Marc Aurousseau, Eric Ballot, Alain Bernard, Daniel Brissaud, Sandrine Caroly, et al.. FUTURPROD - Les systèmes de production du futur. [Rapport de recherche] 11 ANIM 016 01, ANR. 2013. halshs-01302714

HAL Id: halshs-01302714

https://shs.hal.science/halshs-01302714v1

Submitted on 4 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AIP-Primeca

GDR Macs

Société Française de Génie des Procédés

FUTURPROD - Les systèmes de production du futur

Atelier de Réflexion Prospective - Rapport final

Coordination

Daniel BRISSAUD, professeur, Grenoble INP

Yannick FREIN, professeur, Grenoble INP

Valérie ROCCHI, chargée de mission, ARC8

Rédaction

Marc AUROUSSEAU, professeur, Grenoble INP

Eric BALLOT, professeur, Ecole des Mines de Paris

Alain BERNARD, professeur, Ecole Centrale de Nantes

Daniel BRISSAUD, professeur, Grenoble INP

Sandrine CAROLY, maître de conférences HdR, Université Joseph Fourier

Yannick FREIN, professeur, Grenoble INP

Bernard GRABOT, professeur, ENI Tarbes

Valérie ROCCHI, chargée de mission, ARC8

Pour l'Agence Nationale de la Recherche - N° de contrat : 11 ANIM 016 01

socio-économique
ressources
processus
organisations
demande
services
compétences
réseaux
valeur
entreprises
techniques
travail
décision
scientifique
outils
économique
industriels
thématique
monde
connaissances
logistique
verrous
produit
Intérêt
formation
vie
technologies
durable
simulation
développement
gestion
connaissance
société
produits
modèles
innovation
procédés
pays
acteurs
risques
relations
production
activités
sécurité
Produire
développer
besoins
recherche
système
conception

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord à l'Agence Nationale de la Recherche, et en particulier à Jean-Pierre Chevalier, Directeur du département Ingénierie, Procédés, Sécurité, pour son soutien constant à ce projet qui contribuera, nous l'espérons, à éclairer les décideurs sur les grandes orientations de recherche à lancer pour les systèmes de production du futur.

Nous remercions ensuite bien évidemment l'ensemble des experts pour leur enthousiasme et leurs contributions précieuses tout au long du projet.

Sommaire

REMERCIEMENTS ..... - 3 -

SOMMAIRE ..... - 4 -

SYNTHESE ..... - 8 -

1- INTRODUCTION : « PRODUIRE AVEC SCIENCE ET INNOVATION », LES SYSTEMES DE PRODUCTION DE DEMAIN ..... - 13 -

2- OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ATELIER DE REFLEXION PROSPECTIVE FUTURPROD - 16 -

2.1 OBJECTIFS ..... - 16 -
2.2 PARTENARIAT ET ORGANISATION ..... - 16 -
2.3 METHODOLOGIE DE L'ATELIER DE REFLEXION PROSPECTIVE ..... - 17 -
2.4 LE COLLOQUE ANR-FUTURPROD : QUELLES RECHERCHES POUR LA PRODUCTION INDUSTRIELLE DE DEMAIN ? ..... - 20 -

3- COMPRENDRE : LES VARIABLES CLES DES SYSTEMES DE PRODUCTION ..... - 20 -

3.1 CONSTITUTION DU SOCLE DOCUMENTAIRE ..... - 20 -
3.2 LE SYSTEME DE PRODUCTION ET SES VARIABLES ..... - 21 -

4- IMAGINER : LES SCENARIOS PROSPECTIFS DE L'EVOLUTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION ..... - 22 -

4.0 SCENARIO 0 – TENDANCIEL – UNE SOCIETE A-INDUSTRIELLE ..... - 23 -
EN BREF ..... - 23 -
TENTATIVE DE MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE VOLONTARISTE DE SOUTIEN A L'INDUSTRIE ..... - 23 -
DES HANDICAPS CONJONCTURELS ET STRUCTURELS FREINENT LA REPRISE ..... - 23 -
DE NOUVELLES VOIES DE CROISSANCE SONT ENVISAGEES ..... - 24 -
UNE INDUSTRIE, OUI MAIS TRES SPECIALISEE ET A FORTE VALEUR AJOUTEE ..... - 24 -
4.1 SCENARIO DE RUPTURE 1 – DES TECHNOLOGIES CLES GENERIQUES A FORTE VALEUR AJOUTEE ..... - 25 -
EN BREF ..... - 25 -
UNE FAIBLE CROISSANCE QUI DURE ..... - 26 -
UNE REACTION POLITIQUE S'IMPOSE ..... - 26 -
PRINCIPES DE LA SOLUTION : REGULATION EUROPEENNE ET INNOVATION TECHNOLOGIQUE ..... - 27 -
LES SYSTEMES DE PRODUCTION EN FRANCE EN 2030 ..... - 27 -
4.2 SCENARIO DE RUPTURE 2 : DES ORGANISATIONS CIRCULAIRES MULTIECHELLES ..... - 30 -
EN BREF ..... - 30 -
UNE FORTE INQUIETUDE POUR LA BIOSPHERE ET LA FAIM DANS LE MONDE ..... - 30 -
INFORMATION MONDIALISEE ET SOCIETE CIVILE ..... - 30 -
PRISE DE CONSCIENCE COLLECTIVE ..... - 30 -
PRINCIPES DE LA SOLUTION : ECONOMIE CIRCULAIRE ET INDICATEURS GLOBAUX ..... - 31 -
4.3 SCENARIO DE RUPTURE 3 - NEO-INDUSTRIALISATION DANS UN CONTRAT SOCIAL RENOVE ..... - 34 -
EN BREF ..... - 34 -
LA COHESION SOCIALE AU BORD DE L'EXPLOSION ..... - 34 -
LA SOCIETE IMPOSE LE DEBAT ..... - 34 -

PRINCIPES DE LA SOLUTION : LA RESPONSABILITE SOCIALE - 35 -

5- MUTATIONS INDUSTRIELLES - 37 -

5.1 PREMIERE MUTATION : UNE PERFORMANCE INDUSTRIELLE EN PHASE AVEC LES ATTENTES DE LA SOCIETE - 38 -

5.2 DEUXIEME MUTATION : DES ACTEURS NOUVEAUX DANS LES SYSTEMES INDUSTRIELS - 39 -

5.3 TROISIEME MUTATION : L'ARRIVEE DE TECHNOLOGIES CLES GENERIQUES D'UN NOUVEAU TYPE VA REVOLUTIONNER LES TECHNOLOGIES DE FABRICATION. - 40 -

6- ENJEUX DE RECHERCHE - 42 -

6.1 DEVELOPPER DE NOUVELLES TECHNOLOGIES INTELLIGENTES - 42 -

6.2 DEVELOPPER LES OUTILS POUR CONCEVOIR ET ORGANISER LES SYSTEMES DE PRODUCTION - 44 -

6.3 DEVELOPPER DE NOUVELLES COMPETENCES PROFESSIONNELLES - 45 -

6.4 PRODUIRE ET DISTRIBUER DANS LES CHAINES LOGISTIQUES DU PLUS PRES DES MARCHES AU MONDE ENTIER - 46 -

6.5 PRODUIRE DE FAÇON ECO-EFFICIENTE - 48 -

6.6 PRODUIRE EN ASSURANT SECURITE ET SANTE AU TRAVAIL - 49 -

6.7 CONCEVOIR DES FONCTIONNALITES PLUS QUE DES PRODUITS - 51 -

6.8 INVENTER DE NOUVEAUX DISPOSITIFS DE COLLABORATION - 52 -

6.9 AMELIORER LA RESPONSABILITE SOCIETALE DES ENTREPRISES (RSE) - 53 -

6.10 DEVELOPPER L'INNOVATION PARTICIPATIVE - 54 -

7- CONCLUSION - 56 -

QUE RETENIR FINALEMENT ? - 56 -

ANNEXES - 58 -

1. LES EXPERTS - 58 -

2. LE LABORATOIRE G-SCOP - 60 -

3. AIP-PRIMECA - 60 -

4. GDR MACS - 62 -

5. SOCIETE FRANÇAISE DE GENIE DES PROCEDES - 62 -

6. SOCLE DOCUMENTAIRE - 64 -

7. PROGRAMME DU COLLOQUE ANR-FUTURPROD - 66 -

8. FICHES THEMATIQUES DE RECHERCHE - 67 -

8.1 DEVELOPPER DE NOUVELLES TECHNOLOGIES INTELLIGENTES - 67 -

8.1.1 Cobotique, assistance au citoyen - 67 -

8.1.2 Développer de nouvelles technologies de fabrication (Kets) - 68 -

8.1.3 Modèles avancés : multiphysiques, multiéchelles - 69 -

8.1.4 Interaction homme/machine, communication multi-modale, interfaces intelligents, immersifs, réalité virtuelle, réalité augmentée - 70 -

8.1.5 Méthodes et systèmes d'extraction, de capitalisation, de partage, de réutilisation des connaissances dans un environnement personnalisé, centralisé ou distribué - 72 -

8.1.6 Concevoir et produire des produits intelligents - 73 -

8.1.7 Connaissance et système de production : de l'adaptation à la préservation ..... *- 74 -*
8.2 DEVELOPPER LES OUTILS POUR CONCEVOIR ET ORGANISER LES SYSTEMES DE PRODUCTION ..... - 76 -
8.2.1 Systèmes de production polyvalents, reconfigurables, réutilisables, mobiles, robustes - Agilité des systèmes de production ..... *- 76 -*
8.2.2 Pilotage de systèmes complexes et nouveaux paradigmes pour l'organisation et le pilotage des systèmes de production basées sur les systèmes biologiques (approches auto-immunes, génétiques) - 77 -
8.2.3 Produit actif, intelligent, système de production géré par le produit ..... *- 78 -*
8.2.4 Mise en œuvre de l'usine numérique en simulation et pilotage ..... *- 79 -*
8.2.5 Développer des technologies / machines / procédés / installations propres moins consommatrices de ressources physiques et/ou humaines ..... *- 81 -*
8.2.6 Définir les indicateurs permettant d'identifier et d'anticiper les marchés ..... *- 82 -*
8.3 DEVELOPPER DE NOUVELLES COMPETENCES PROFESSIONNELLES ..... - 83 -
8.3.1 Hyperspécialisation des compétences ..... *- 83 -*
8.3.2 Des métiers industriels émergents dans une société de service ..... *- 84 -*
8.3.3 Nouvelles répartitions des tâches ..... *- 85 -*
8.3.4 Nouvelles formes d'apprentissage et de transmission des connaissances, "serious game", formation tout au long de la vie, formation en situation de travail, accès à la connaissance externe en situation de travail ..... *- 86 -*
8.4 PRODUIRE ET DISTRIBUER DANS LES CHAINES LOGISTIQUES DU PLUS PRES DES MARCHES AU MONDE ENTIER - 87 -
8.4.1 Développer des collaborations d'entreprise dans un contexte multi-culturel ..... *- 87 -*
8.4.2 Conception et pilotage de la chaîne logistique ..... *- 88 -*
8.4.3 Organisation géographique multiéchelles des entreprises ..... *- 90 -*
8.4.4 Produire des petites quantités avec rentabilité économique ..... *- 90 -*
8.4.5 Logistique en circuits bouclés ..... *- 92 -*
8.4.6 Localisation des compétences ..... *- 93 -*
8.5 PRODUIRE DE FAÇON ECO-EFFICIENTE ..... - 94 -
8.5.1 Réduction de l'intensité énergétique et matière des systèmes productifs ..... *- 94 -*
8.5.2 Eco-conception ..... *- 95 -*
8.5.3 Conception de systèmes de production de recyclage performants ..... *- 97 -*
8.5.4 Les modes d'action publique et de partenariat pour favoriser l'économie circulaire ..... *- 98 -*
8.6 PRODUIRE EN ASSURANT SECURITE ET SANTE AU TRAVAIL ..... - 99 -
8.6.1 Santé et sécurité au travail ..... *- 99 -*
8.6.2 Précarité/vulnérabilité de certaines populations ..... *- 101 -*
8.6.3 Sureté des installations ..... *- 102 -*
8.7 CONCEVOIR DES FONCTIONNALITES PLUS QUE DES PRODUITS ..... - 103 -
8.7.1 Revisiter la modularité ..... *- 103 -*
8.7.2 Economie de fonctionnalité ..... *- 104 -*
8.7.3 Ingénierie de Système ..... *- 105 -*
8.8 INVENTER DE NOUVEAUX DISPOSITIFS DE COLLABORATION ..... - 107 -
8.8.1 Mobilité et communication dans les équipes et les chaînes de partenaires ..... *- 107 -*
8.8.2 Travail à distance ..... *- 108 -*
8.9 AMELIORER LA RESPONSABILITE DES ENTREPRISES ..... - 109 -
8.9.1 Outiller l'entreprise à la gouvernance ..... *- 109 -*

8.9.2 Faciliter le partage et le dialogue des éthiques des acteurs sur les méthodes et les changements ..... *- 110 -*
8.10 SUPPORTER L'INNOVATION PARTICIPATIVE..... - 112 -
8.10.1 Dynamique des échanges et des interfaces..... - 112 -
8.10.2 Travail collaboratif et en réseaux..... - 113 -
8.10.3 Place de l'utilisateur dans la conception ..... - 114 -
8.10.4 Nouveaux modes de recherche appliquée, "recherche innovation", recherche dans les PME..... - 115 -

Synthèse

Ce rapport présente les résultats de l'Atelier de Réflexion Prospective FUTURPROD qui s'est déroulé de janvier 2012 à juin 2013. Il répond à trois objectifs formulés par l'ANR dans l'appel à projet initial :

- Imaginer les systèmes de production à l'horizon 2030 ;
- Renouveler en profondeur les approches scientifiques afin d'aborder la production industrielle comme un système aux dimensions multiples : techniques, organisationnelles, économiques, humaines et sociales ;
- Contribuer à l'élaboration des futurs programmes de l'ANR en définissant un ensemble de priorités thématiques de recherche.

FUTURPROD a été porté par le laboratoire G-SCOP, Grenoble INP, et trois réseaux de recherche nationaux : l'AIP-PRIMECA, le GDR MACS et la Société Française de Génie des Procédés.

Le projet s'est appuyé sur un groupe de 36 experts, académiques des systèmes de production (sciences de l'ingénieur et sciences humaines et sociales), industriels et leurs représentants structurés en cluster, centres d'études des questions sociétales. Les experts ont été choisis pour leur excellence scientifique et leur implication dans les réseaux académiques et industriels, nationaux et internationaux. Le consortium ainsi constitué a permis d'agréger toutes les compétences et expertises nécessaires pour aborder la complexité scientifique de l'objet « système de production » et la diversité industrielle (industries de biens et de procédés, de services aux industries, de haute technologie, de technologies de production, grands groupes, PME).

L'Atelier de Réflexion Prospective FUTURPROD s'est organisé autour de trois grandes phases et six ateliers de travail collectif. La méthodologie de prospective suivie est celle des scénarios développée par l'association FUTURIBLES.

La première phase du projet a permis de définir un objet partagé entre les différents acteurs au travers notamment de la constitution et de l'analyse d'un socle documentaire sur les systèmes de production. Lors de la seconde phase, les experts ont imaginé ce que pourraient être les systèmes de production dans 20 ans. De ce travail prospectif, trois scénarios ont été dégagés. Tous les trois sont traversés par des mutations de grande ampleur dans les domaines technologique, organisationnel et social. Lors de la troisième et dernière phase du projet, les experts ont identifié 10 enjeux de recherche pour faire face à ces mutations, déclinés ensuite en 43 thématiques de recherche.

FUTURPROD a enfin émis un ensemble de recommandations de recherche qui ont été reprises dans un appel à projet de l'ANR dans le cadre de sa programmation 2014 (défi N°3 Stimuler le renouveau industriel).

Quels systèmes de production à l'horizon 2030 ?

Les experts ont identifié trois grands scénarios prospectifs délibérément volontaristes.

Scénario 1 : Des technologies clés génériques à forte valeur ajoutée

Dans ce scénario, les systèmes de production français et européens fortement impactés par les crises financières de 2008 et de 2011, s'organisent autour des technologies génériques à forte valeur ajoutée, l'ensemble de la chaîne R&D, industrialisation, fabrication est réalisé en France.

Scénario 2 : Des organisations circulaires Multi-échelles

Dans ce scénario, le poids grandissant des réseaux sociaux ainsi que celui des organisations non gouvernementales contribuent à une prise de conscience collective des problèmes humanitaires et environnementaux à l'échelle de la planète. Cette demande sociétale rejoint le problème des industriels qui ont de plus en plus de mal à s'approvisionner en matière et en énergie. Des organisations circulaires intégrant le double objectif de produire au plus près des territoires tout en adressant la nécessaire vision globale sont mises en place.

Scénario 3 : Néo-industrialisation dans un contrat social rénové

Dans ce scénario, la crise économique, sociale et environnementale que connaît la France depuis plusieurs décennies débouche sur une entière refonte des rapports sociaux. Logique économique, logique sociale et logique environnementale ne sont plus antinomiques.

Trois grandes mutations industrielles en cours

De ce travail de prospective, il ressort clairement trois grandes mutations industrielles transverses à l'ensemble des scénarios.

Première mutation : une performance industrielle en phase avec les attentes de la société

L'industrie devient un acteur central et ouvert de la société dans laquelle elle vit. La performance industrielle doit être entièrement repensée dans une perspective sociétale, avec notamment une demande forte de sécurité et de production propre mais aussi une meilleure synergie entre les territoires et la production industrielle, qui intègre bien évidemment l'économie.

Seconde mutation : des acteurs nouveaux dans les systèmes industriels

De nouvelles parties-prenantes, tout aussi légitimes que les acteurs historiques, rentrent dans le cercle des acteurs clés des systèmes de production. Les pouvoirs publics et les partenaires sociaux doivent jouer pleinement leur rôle. Le citoyen, l'individu des réseaux sociaux et des ONG s'imposent comme des partenaires à part entière. Il faut inventer et construire la manière d'interagir entre tous ces acteurs de logiques et de cultures différentes.

Troisième mutation : l'arrivée de technologies clés génériques d'un nouveau type va révolutionner les technologies de fabrication

La miniaturisation, la minimisation des énergies consommées, l'explosion de la quantité d'information manipulable vont bouleverser les produits et la production. Une révolution industrielle est en train de naitre avec le développement des technologies clés génériques. Il faut rapidement être capable de les maitriser pour en construire les usages et les applications et les produire.

Quelles réponses scientifiques face aux défis soulevés par ces grandes mutations ?

10 grands enjeux de recherche ont été identifiés pour répondre aux défis soulevés par ces trois grandes mutations industrielles :

- Développer de nouvelles technologies intelligentes
- Développer les outils pour concevoir et organiser les systèmes de production
- Développer de nouvelles compétences professionnelles
- Produire et distribuer dans les chaînes logistiques du plus près des marchés au monde entier
- Produire de façon éco-efficiente
- Produire en assurant sécurité et santé au travail
- Concevoir des fonctionnalités plus que des produits
- Inventer de nouveaux dispositifs de collaboration
- Améliorer la responsabilité des entreprises
- Supporter l'innovation participative

Développer de nouvelles technologies intelligentes – cf. pages 67-75

Le développement de nouvelles technologies telles que les Key Enabling Technologies ou les « disruptive technologies » vont fortement impacter les produits et systèmes de production de demain. Les principaux enjeux concernent à la fois les technologies (principes physiques, modélisation et simulation, applications) en tant que telles mais également leur conception, leur mise en œuvre et leur interaction avec les utilisateurs.

Développer les outils pour concevoir et organiser les systèmes de production – cf. pages 76-82

Les marchés actuels se caractérisent de plus en plus par leur variabilité, tant au niveau des quantités de produits à fabriquer ou à vendre par période que des fonctionnalités des produits, amenés à s'adapter à des besoins toujours plus spécifiques, dans un contexte de raccourcissement des délais de mise sur le marché. Les systèmes de production du futur se doivent d'être rentables tout en étant flexibles et réactifs, tant au niveau des quantités que de la nature des produits, processus et procédés mis en œuvre.

Développer de nouvelles compétences professionnelles – cf. pages 83-86

Dans un système de production fondé sur des technologies avancées, les ressources humaines doivent se renouveler en permanence pour que les compétences puissent

s'adapter rapidement aux évolutions techniques. Dans les années à venir, il apparait donc nécessaire de mieux identifier les ressources à mobiliser dans l'organisation du travail et la formation pour développer les compétences.

Produire et distribuer dans les chaînes logistiques du plus près des marchés au monde entier – cf. pages 87-93

La production au plus près des besoins du consommateur et de manière respectueuse de l'environnement permettrait de mieux prendre en compte les besoins, de revitaliser des territoires, tout en allant dans le sens d'un développement durable. Les années à venir verront donc l'émergence d'organisations multi-échelles devant répondre au mieux aux objectifs contradictoires de produire de petites quantités adressant les besoins spécifiques des territoires et les économies d'échelle pour prendre en compte une demande mondiale.

Produire de façon éco-efficiente – cf. pages 94-98

Les systèmes de production du futur, existants ou nouveaux, doivent être durables c'est-à-dire intégrer et maximiser les bénéfices des impacts économique, environnemental et sociétal. L'éco-efficience impose donc à la fois une fonction de satisfaction et de service et une fonction de rendement écologique. Cette production sera également créatrice de nouveaux métiers ou filières.

Produire en assurant sécurité et santé au travail – cf. pages 99-102

Une régulation de la sécurité et de la santé au travail sera de plus en plus nécessaire pour tenter de contrôler les risques engendrés par les systèmes de production et les innovations technologiques, afin de répondre à une réelle demande sociétale.

Concevoir des fonctionnalités plus que des produits – cf. pages 103-106

Les systèmes industriels sont également interrogés sur les décalages, ressentis ou réels, entre les performances annoncées et finalement obtenues par les produits installés. Il s'agit alors de se préoccuper de la solution complète qui répond à la demande plus que du produit lui-même qui n'en est qu'un des éléments. Il s'agit de généraliser le concept à l'intégralité du cycle de vie et pour l'ensemble des performances.

Inventer de nouveaux dispositifs de collaboration – cf. pages 107-108

Un système de production qui prend en compte les évolutions sociétales, doit également considérer les instruments qui circulent entre les acteurs visant à favoriser leur collaboration pour la production et l'innovation. Pour développer de nouveaux dispositifs de collaboration, les acteurs industriels devront mieux prendre en compte les modifications de la relation de travail, les nouvelles possibilités d'organisation du travail à distance et la nécessité de professionnalisation de certains métiers.

Améliorer la responsabilité des entreprises – cf. pages 109-111

Avec le développement de l'activité des entreprises, notamment industrielles, leurs impacts sur la société et notre monde sont devenus de plus en plus prégnants. Ces impacts touchent

non seulement le domaine d'activité propre à ces entreprises, la production de biens et de services, mais ils génèrent également de nombreux effets induits (externalités) qui se manifestent dans de multiples domaines comme le fonctionnement de l'économie, la santé, l'environnement, la solidarité etc. Le développement de la responsabilité sociale des entreprises ne relève ni du vœu pieu ni d'une obligation mais davantage de la mutation d'un système technico économique sous tendu par des valeurs et des droits.

Supporter l'innovation participative – cf. pages 112-116

La place de l'utilisateur dans les processus de conception est un enjeu essentiel. Il s'agit de développer des technologies et des usages pour la communication et l'interaction entre utilisateurs, et entre utilisateurs et fournisseurs, des éco-systèmes de concrétisation maîtrisée des produits afin de rendre accessible aux utilisateurs des moyens d'adaptation. Ceci se traduira à terme par une réelle innovation participative intégrant l'utilisateur pour des concepts de produits évolutifs et intelligents.

Conclusion

Ré-industrialiser la France est un défi de premier ordre. La science doit y participer et elle est en état de marche avec des laboratoires et des industries en ordre de marche. Il y a déjà des pôles d'excellence sur lesquels s'appuyer ; il est certainement nécessaire d'en créer d'autres pour des enjeux stratégiques mais aussi de se concentrer sur les problèmes qui en mobilisant une vision système intégrant technologies, ressources humaines et organisation transformeront l'industrie de demain pour mieux répondre aux attentes de la société qui à la fois améliorent la condition de la société dans son ensemble et celle de l'entreprise en particulier. Les approches pluridisciplinaires devront être privilégiées associant non seulement les sciences « dures » et les sciences pour l'ingénieur mais également les sciences sociales dans leur diversité.

1- Introduction : « Produire avec science et innovation », les systèmes de production de demain

Nous vivons un changement remarquable de paradigme pour le développement économique et social de la France. Le concept « Produire sans usine » du début des années 90 renvoyait la production industrielle en « back office » lointain et la science de la production aux pays à bas coût de main d'œuvre. Cette vision annonçait des difficultés économiques, à court terme puisque l'abandon des sites de production amène assez logiquement à la baisse du nombre d'emplois et à la baisse des produits à exporter, mais aussi à moyen terme puisque qu'il faut maîtriser la production et ses techniques pour être en position de concevoir et finalement d'innover.

Nous privilégions aujourd'hui le concept « produire avec science et innovation » qui permet tout autant d'aller vers la société de la connaissance souhaitée pour l'Europe. En effet, associer la production industrielle à la recherche et à la formation permet de remettre le progrès au service de la société : les nouveaux défis sont dans les nouveaux produits et services, les nouvelles façons de travailler et de concevoir. C'est aussi une posture gagnant-gagnant : l'industrie retrouve une place de choix dans le développement économique et dans le développement social ; le monde scientifique retrouve sa légitimité, capable de créer un progrès technologique et social en phase avec la société.

La « commande » à la recherche scientifique est donc clairement une contribution à la « ré-industrialisation de la France » pour stimuler le renouveau industriel.

Le devenir des systèmes industriels et des systèmes de production, qui n'a été abordé, dans les années précédentes, que par le décompte des emplois supprimés et des fermetures d'usines, redevient un enjeu de développement des sociétés française, européenne et américaine. De nombreux rapports récents qui analysent les enjeux dans différentes régions du monde, le disent clairement[1]. Les indicateurs chiffrés[2] sont sans ambiguïté sur la situation industrielle française. La part de l'industrie dans la valeur ajoutée totale est passée de 18% en 2000 à environ 12,5% en 2011. L'emploi industriel était en 2011 d'environ 12,5%, diminuant ainsi de moitié en 30 ans (26% de l'emploi salarié total en 1980). Quant à la part de marché des exportations françaises, elle est passée de 12,7% en 2000 à 9,3% en 2011. Louis Gallois parle de « seuil critique atteint au-delà duquel elle est menacée de déstructuration ». Cette situation industrielle a également des conséquences sur les autres secteurs d'activité : un emploi industriel génère 3 ou 4 emplois indirects.

[1] *Rapport des états généraux de l'industrie*, Février 2010 ; *Europe 2020 : a strategy for smart, sustainable and inclusive growth,* Mars 2010 ; *Report to the President on ensuring american leadership in advanced manufacturing*, Juin 2011, *Pacte pour la compétitivité de l'industrie française*, Louis Gallois, nov. 2012; *Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation*, McKinseyn Global Institute, McKinsey Operations Practice, nov. 2012.

[2] Les chiffres cités sont issus du rapport de Louis Gallois, *Pacte pour la compétitivité de l'industrie française,* nov. 2012.

Par ailleurs, les systèmes de production sont interrogés sur leur utilité réelle pour la société et son bien-être en des termes nouveaux : 9 milliards de personnes à satisfaire, la planète à sauvegarder, l'énergie à économiser et l'emploi à assurer… Pour aider à la prise de décision politique et industrielle, les scientifiques doivent se réapproprier le thème dans sa version moderne d'après crise. La question que l'on peut légitimement se poser est la suivante : devons-nous, pouvons-nous, repartir sur les mêmes logiques industrielles qu'auparavant ou devons-nous développer une vision des systèmes de production durables radicalement différente ?

Certaines tendances lourdes qui caractérisent le monde économique sont bien connues :

- La forte croissance des pays émergents entraîne une tension non régulée sur le marché des matières premières dans un monde où la finitude des ressources naturelles est maintenant avérée, tension qui peut aller jusqu'à remettre en cause l'indépendance des pays développés.
- La mondialisation des échanges, qui s'est construite avec le développement de l'informatique et de la logistique, rythme la compétition dans un monde où les coûts du transport et de l'énergie ne peuvent qu'augmenter.
- La redistribution de plus en plus inégale des revenus aussi bien au niveau national qu'international crée des marchés régionaux différenciés et nouveaux.
- La contribution humaine au changement climatique, et d'une manière générale aux nuisances environnementales, est reconnue et questionne les modes de consommation et de production des pays développés principalement, mais aussi des pays émergents dans leur dynamique.
- Le vieillissement de la population dans les pays industrialisés et son accroissement considérable dans les autres pays appellent une offre nouvelle adaptée à des besoins nouveaux.
- Le travail évolue, plus professionnel alors qu'il est resté organisé d'une manière qui ne répond plus aux attentes des individus.

Les entreprises et les systèmes de production sont alors pris dans un nouveau contexte, encore plus complexe qu'auparavant, où contraintes et objectifs se déclinent différemment, voire sont nouveaux :

- Les notions de **performance** et d'efficacité se sont élargies pour embrasser court terme et long terme, et prennent une dimension éthique. L'essentiel de la compétitivité se joue davantage sur la qualité des produits, sur la variété, sur la richesse des services qui y sont associés et sur leur degré d'innovation que sur les coûts. Cette performance doit être assurée dans un environnement où les incertitudes et les variabilités techniques, économiques, sociétales, humaines n'ont jamais été aussi importantes.
- Le rythme effréné de l'évolution des **technologies** et des connaissances scientifiques associées, ainsi que leur diffusion massive sont des sources permanentes d'**innovation** aussi bien au niveau des solutions et des usages que des techniques et des organisations de production.

- Le renforcement des phénomènes de **mise en réseau** des firmes et l'éclatement géographique des activités, sont à la fois sources d'efficacité, riches d'innovation, mais aussi sources de fragilité et d'abandon de responsabilités locales. C'est surtout la nature et la qualité des relations des acteurs de la chaîne de valeur qui comptent.
- Les exigences variées, pressantes et changeantes du **client** pilotent la production. Dans les sociétés occidentales, c'est une nouvelle approche du consumérisme qu'il faut développer, alors que dans d'autres sociétés, c'est d'abord celle d'une offre adaptée aux nouveaux consommateurs potentiels.
- La demande sociétale de **développement durable**, par la prise en compte, encore plus prégnante, des enjeux environnementaux, mais aussi des enjeux sociaux et sociétaux, change totalement la **responsabilité** des producteurs en modifiant les frontières de l'activité de production pour englober l'ensemble du cycle de vie des produits.
- Les **ressources** en matière et en énergie, que l'on sait maintenant limitées, que ce soit par leur extinction, leur difficulté d'accès ou par leur prix inabordable, redéfinissent l'espace des solutions possibles, en particulier par recyclage et réutilisation.

Tous ces points ne sont pas de même nature, et la science ne peut les aborder qu'avec un ensemble de partenaires venant d'horizons disciplinaires complémentaires : les sciences de l'ingénieur et les sciences et technologies de l'information et la communication (STIC) doivent coopérer avec des gestionnaires, des économistes, des sociologues et des ergonomes, les industriels avec les chercheurs. Cette fragmentation en disciplines a été préjudiciable au développement d'une vision intégrée des systèmes de production. Il s'agit maintenant de s'appuyer sur cette diversité d'expertises complémentaires pour les mettre en synergie dans une vision commune et partagée. Ces domaines ne peuvent aussi être abordés de manière isolée tant ils ne font sens que tous ensemble. Seule une approche système permet d'appréhender la complexité des systèmes de production. La pensée « cycle de vie » doit irriguer la recherche pour proposer des solutions durables satisfaisant toutes les parties prenantes.

Plusieurs pistes d'évolution des systèmes de production sont aujourd'hui avancées dans les nombreux rapports récents : personnalisation de masse, économie circulaire, servicisation et économie de fonctionnalité, territorialisation de la production, économie de la connaissance, développement de nouvelles compétences, communautés d'acteurs à forte interopérabilité, innovation devenue un processus continu essentiel au positionnement concurrentiel des entreprises et à leur performance… Ces apports sont-ils à la hauteur des attentes et des enjeux ? Ces solutions sont-elles réellement soutenables ? Quelles sont les solutions les plus performantes pour l'industrie française au sein du système européen pris dans la mondialisation ?

Á côté de ces propositions organisationnelles, on annonce aussi des évolutions remarquables de technologies capables, tout à la fois, de tirer la performance industrielle européenne et de révolutionner les modes de production. Ces technologies sont-elles réellement miraculeuses pour la production européenne ? S'il est vrai que leur développement est important, ces

technologies ne seront efficaces et utiles que par leur contribution au système qui les englobe et les légitime. Ce sont bien des innovations systèmes qui sont attendues. Comment intégrer les innovations technologiques dans des solutions systèmes dans lesquelles technologie, formation, organisation forment un tout ? Comment dépasser la technologie pour bien envisager la performance globale et la gestion de la connaissance pour le renouveau industriel ?

2- Objectifs et méthodologie de l'Atelier de Réflexion Prospective FUTURPROD

2.1 Objectifs

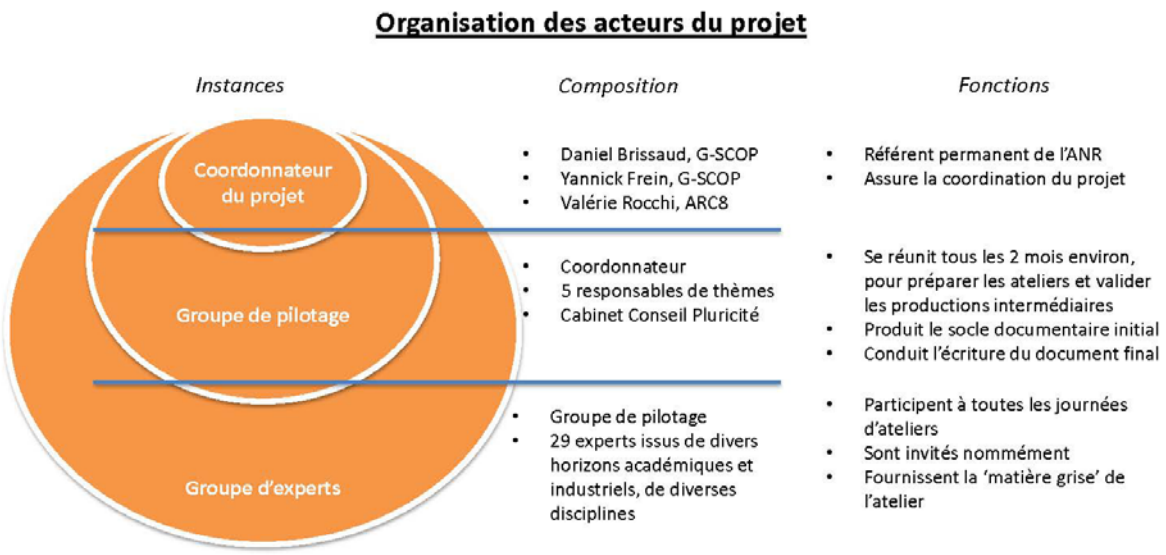
L'Agence Nationale de la Recherche lance en juin 2011 un Atelier de Réflexion Prospective sur les systèmes de production du futur visant à :

i. Identifier les problématiques de recherche, via des méthodes de prospective, en appui au développement des futurs systèmes de production dans les domaines industriels et des services associés à l'horizon 2025-2030.
ii. Identifier des priorités thématiques pouvant faire l'objet d'actions incitatives ou de programmes de recherche du fait, à la fois de leur pertinence, de leur caractère innovant potentiel, et de leur adéquation aux forces de la communauté scientifique nationale.
iii. Contribuer à l'élaboration de la programmation future de l'ANR en participant notamment aux réflexions des comités scientifiques sectoriels de l'ANR.
iv. Créer une communauté de recherche publique et privée de taille critique à même de travailler de façon interdisciplinaire sur ces questions.

La réponse doit viser à renouveler en profondeur les approches scientifiques afin d'aborder la production industrielle comme un système aux dimensions multiples : techniques, organisationnelles, économiques, humaines et sociales. Il s'agit de sortir des approches purement sectorielles pour considérer « les processus de production de manière « horizontale » [et non sectorielle], identifier des approches applicables à un large spectre de filières industrielles » et couvrir l'entreprise industrielle mais également l'ensemble des services à l'industrie.

2.2 Partenariat et organisation

Les réseaux académiques et professionnels AIP-PRIMECA, GDR MACS et Société Française de Génie des Procédés (SFGP) structurent un projet en commun. Le laboratoire G-SCOP de Grenoble-INP en est le coordonnateur scientifique. La coordination technique a été assurée par Valérie Rocchi, chargée de mission pour la communauté de recherche « ARC8 - Industrialisation et Sciences de Gouvernement » de la région Rhône-Alpes ». Elle est accompagnée du cabinet Pluricité pour la mise au point de la méthodologie et l'organisation des séances communes.



Le travail de réflexion s'appuie sur un groupe de 36 experts, académiques des systèmes de production, industriels et leurs représentants structurés en cluster, centres d'études des questions sociétales et académiques en sciences humaines et sociales. Les experts ont été choisis pour leur excellence scientifique et leur implication dans les réseaux académiques et industriels, nationaux et internationaux. Le consortium ainsi constitué a permis d'agréger toutes les compétences et expertises nécessaires à la complexité scientifique de l'objet « système de production » (sciences pour l'ingénieur, sciences humaines et sociales) et à la diversité industrielle considérée (industries de biens et de procédés, de services aux industries, de haute technologie, de technologies de production, grands groupes, PME).

2.3 Méthodologie de l'atelier de réflexion prospective

Un Atelier de Réflexion Prospective vise à « stimuler la réflexion prospective autour de domaines et thèmes de recherche que le cours de l'évolution économique, sociale ou scientifique rend nécessaire » et à « relier tout type de partenaires potentiels de projets de recherche autour de ce domaine ou de ce thème, constituant ainsi une force de proposition ».

La prospective n'est pas un exercice de prévision qui donnerait in fine des tendances probables d'évolution à partir de données actuelles extrapolées. Elle n'est pas non plus un exercice de divination et de prédiction tels les oracles de l'antiquité. Très utilisée par les

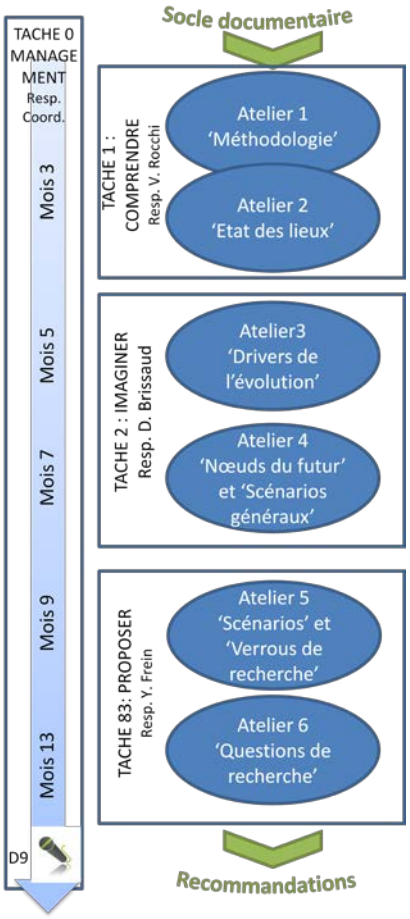
grandes institutions internationales, les agences gouvernementales et les collectivités territoriales pour des activités de veille (intelligence stratégique, intelligence territoriale, intelligence sociétale), la prospective permet d'explorer les futurs possibles d'une question économique, sociale, politique jugée prioritaire. Elle constitue ainsi une aide à la décision pour l'élaboration de stratégies et leur mise en œuvre selon les scénarios retenus.

Un Atelier de Réflexion Prospective donne lieu à :

- « Une analyse prospective du domaine avec des synthèses d'exercices de prospective français et étrangers relatifs au domaine concerné mettant en lumière les principaux déterminants de l'évolution de la problématique ;
- Les différentes évolutions possibles du domaine et les enjeux scientifiques à moyen et long terme correspondants ;
- Plusieurs pistes possibles de recherche pour l'avenir et une analyse des moyens nécessaires à leur mise en œuvre ;
- Des recommandations et plans d'action, en particulier relatifs au lancement éventuel de nouveaux programmes de recherche ».

La méthode retenue est celle des scénarios qui est apparue comme la plus pertinente au regard de la demande et de la construction du projet.

Le projet a été construit autour de trois grandes phases et six ateliers et ce, sur une durée totale de 15 mois. (Cf. schéma ci-dessous).



La première phase intitulée « Comprendre » a visé d'une part, à construire l'objet « systèmes de production » de manière pluridisciplinaire et à partager un langage commun entre les différentes composantes scientifiques du consortium et d'autre part à élaborer un socle documentaire. Deux ateliers ont été organisés durant cette période sous la forme de deux journées consécutives qui visaient à créer une synergie de groupe : les 19 et 20 mars 2012 à Grenoble. Au terme de cette première phase, un ensemble de 24 variables regroupées en cinq composantes a été défini.

La seconde phase intitulée « Imaginer » est proprement celle de la prospective. Elle a consisté dans un premier temps à documenter les variables sous la forme de fiches puis à élaborer des micro-scénarios. Au terme du travail de prospective, un scénario tendanciel et trois scénarios prospectifs ont été construits. Deux ateliers ont été organisés sur cette phase : le 30 mai à l'Ecole Centrale de Paris et 18 juillet à l'Ecole des Mines de Paris.

La troisième phase intitulée « Proposer » a consisté à dégager les grands enjeux pour chaque scénario puis à identifier les verrous de recherche et enfin à les décliner sous la forme de thématiques de recherche. Deux ateliers se sont tenus : le 17 octobre à l'Université Paris Dauphine et le 16 janvier 2013 à l'Institut des Sciences de l'Homme de Lyon.

2.4 Le colloque ANR-FUTURPROD : Quelles recherches pour la production industrielle de demain ?

Le 12 février 2013 s'est tenu au CNAM de Paris un colloque entièrement consacré au futur des systèmes de production. Cet évènement organisé conjointement par l'ANR et FUTURPROD a rassemblé près de 170 participants, académiques et industriels. La journée s'est organisée autour de trois grands points de vue :

- Le point de vue international avec la présentation d'initiatives aux USA et en Europe (plateforme Manufuture) ;
- Le point de vue industriel avec des présentations de grandes entreprises décrivant leur problématique ;
- Le point de vue des domaines scientifiques avec des présentations en sciences de gestion, gestion de production, relations sociales et matériaux.

Les premiers résultats du projet Futurprod ont été présentés par Daniel Brissaud, responsable scientifique du projet.

Les présentations sont disponibles sur le site web de l'ARP à l'adresse suivante : http://cluster-gospi.fr/Colloque-ANR-ARP-FUTURPROD-12-02.

3- COMPRENDRE : les variables clés des systèmes de production

3.1 Constitution du socle documentaire

Le premier travail du projet FUTURPROD a consisté à cartographier les rapports, nationaux et internationaux sur les systèmes de production dans toutes leurs dimensions : technologique, organisationnelle, économique et sociale pour en extraire les principaux drivers. A l'exception de quelques rapports particulièrement marquants (*Stratégic Research Agenda*, plateforme technologique européenne Manufuture, 2003), la collecte n'a pas été au-delà de 2008, date de la première crise financière internationale. L'impact de cette crise puis de celle de 2011 ont en effet modifié en profondeur les rapports des grandes puissances à leur secteur industriel.

Le premier constat porte sur le nombre relativement conséquent de publications. La question industrielle et celle de sa performance économique, sociale et environnementale a donné lieu à de nombreux rapports, études stratégiques, économiques, prospectives parfois déclinés en « roadmaps » en Europe et dans les grands pays industrialisés (Etats-Unis, Japon). On voit que les crises financières internationales successives (2008 et 2011) ont eu comme conséquence directe de replacer la production, l'économie réelle, au cœur des préoccupations politiques et économiques des grands états industrialisés historiques.

Le second constat porte sur les types de publications. On distingue parmi la masse documentaire trois grands types de documents.

Le premier rassemble des publications faites par des Etats ou des structures inter-étatiques transverses telles que la plateforme technologique européenne Manufuture. Ils y présentent

leur vision de l'industrie caractérisée principalement par une intensification de la R&D orientée vers le développement de technologies de rupture. Les Etats-Unis ont publié depuis 2008 plusieurs rapports[3] issus de différentes agences fédérales à la demande du Président Obama, qui analysent les facteurs technologiques, politiques, économiques susceptibles de contribuer au développement d'une nouvelle industrie à forte valeur ajoutée et donnent des recommandations en matière de politiques publiques socio-économiques.

Le second type de publications concerne des documents orientés vers un secteur industriel spécifique : chimie et procédés industriels, logistique, énergie, informatique, équipements industriels et systèmes de production automatisés. Le plus souvent, ces publications sont réalisées à la demande d'industriels et contiennent des roadmaps technologiques.

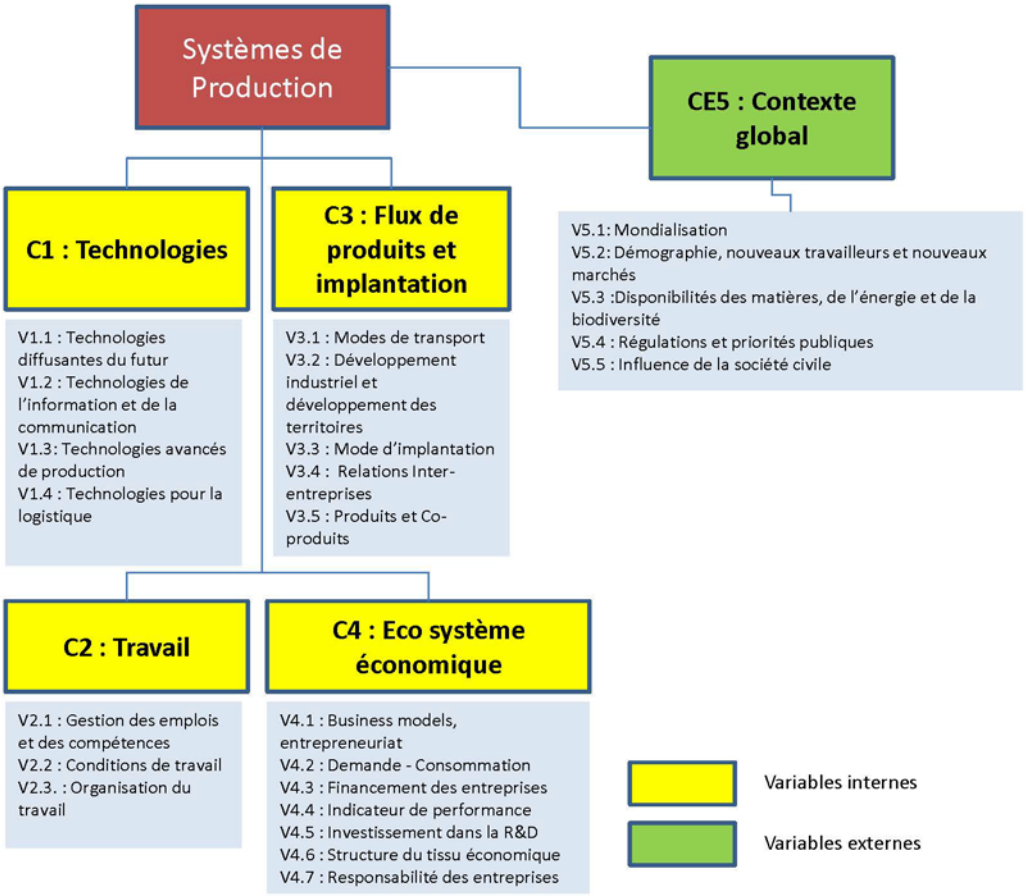
Le troisième type regroupe des publications sur les « Key Enabling Technologies » ou technologies clés génériques : Nano-technologies, Advanced Materials, Microelectronics, Photonics, Industrial bio-technologies and Advanced Manufacturing Systems. Ces dernières pourraient bien constituer une troisième révolution industrielle au regard de leur potentiel d'innovation en matière de conception de produits et de systèmes de production. La question de l'industrialisation des produits contenant des KETS n'est pas ignorée. Au contraire, elle est au cœur de la stratégie de développement proposée par le groupe en charge de l'étude[4].

Les dimensions sociales des systèmes de production à savoir les conditions de travail, les compétences attendues, la formation tout au long de la vie, etc., sont abordées de manière transverse. Les travaux adressent tout type d'entreprise, industrielle ou de service, et tout type de secteurs. Les systèmes industriels ne constituent pas réellement un objet d'étude stricto-sensu dans les sciences économiques, de gestion et la sociologie. Ils contribuent néanmoins à élargir la question de la performance de l'entreprise qui ne peut se réduire à une baisse des coûts du travail pour contrer la concurrence des pays émergents dits « low costs».

3.2 Le système de production et ses variables

La constitution du socle documentaire et son analyse pluridisciplinaire a conduit à la construction d'un modèle partagé des systèmes de production. Ce modèle est constitué de 24 variables réparties en quatre composantes internes et une composante externe.

[3] *Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing*, Executive office of the President, President's council of advisors on Science and Technology, June 2011; *A national strategic plan for advanced manufacturing*, Executive Office of the President National and Technology Council, February 2012.
[4] *High-level group on Key Enabling technologies. Final report*, European Commission, June 2011.



Chacune des variables a été documentée par au moins deux experts sous la forme d'une fiche comportant des éléments descriptifs et prospectifs :

- Une définition de la variable et une série d'indicateurs pertinents pour la caractériser ;
- Une rétrospective de la variable qui permet de repérer les tendances d'évolution et de déterminer les facteurs et acteurs moteurs de son évolution ;
- Les déterminants de l'évolution future de la variable : tendances lourdes, facteurs de rupture et signaux faibles ;
- Les hypothèses d'évolution de la variable en tenant compte des tendances lourdes mais également des incertitudes majeures et des signaux faibles.

4- IMAGINER : les scénarios prospectifs de l'évolution des systèmes de production

L'analyse des évolutions des systèmes de production par composante a permis de dégager trois scénarios prospectifs et un scénario tendanciel :

- Scénario tendanciel 0 : Une société a-industrielle
- Scénario prospectif 1 : Des technologies génériques à forte valeur ajoutée

- Scénario prospectif 2 : Des organisations circulaires multiéchelles
- Scénario prospectif 3 : Néo-industrialisation dans un contrat social rénové

4.0 Scénario 0 – tendanciel – Une société a-industrielle

En bref

Dans ce scénario, l'activité économique de la France est structurée par les activités tertiaires notamment les services à la personne et le tourisme. En 2030, les systèmes de production représentent moins de 10% du PIB français. Les industries n'ont surmonté ni leur manque de compétitivité à l'international, ni leur faible attractivité auprès des jeunes. De nombreux donneurs d'ordre ont poursuivi et accentué leur restructuration avec comme conséquence directe des vagues de licenciement très importantes et la quasi-disparition du tissu de PME françaises. Les sièges des grandes entreprises sont situés hors de France donc les prises de décision stratégiques se font au niveau mondial au détriment de la R&D comme de la fabrication en France ou en Europe. Les politiques industrielles publiques souffrent d'un manque de capacité d'investissement et sont concentrées sur quelques niches de produits et services high tech et/ou en lien avec les enjeux sociétaux tels que le vieillissement de la population et les problèmes environnementaux. La société française est duale avec d'une part des salariés qualifiés bénéficiant de contrats à durée indéterminée et des avantages sociaux importants et d'autre part des travailleurs peu qualifiés avec des contrats précaires en marge de tout système social. La production de biens de masse continue sa migration vers les ex-pays émergents devenus matures et non soumis à des réglementations sociales, environnementales et fiscales. La mondialisation est inversée : les pays européens deviennent le marché BoP (Bottom of the Pyramid) des pays émergents.

Tentative de mise en place d'une politique volontariste de soutien à l'industrie

Au début des années 2000, les pouvoirs publics français, après avoir sous-estimé la question industrielle pendant plus de deux décennies, décident la mise en place d'une politique volontariste de soutien aux entreprises industrielles. Différents dispositifs sont alors créés : des regroupements d'acteurs économiques et académiques sur un territoire donné, une multiplication des parcs technologiques, des agences de financement pour PME-PMI innovantes, le crédit impôt-recherche, des appels à projets de recherche collaboratifs, des structures hybrides recherche/industrie, tels que les instituts Carnot. Ces politiques initiées nationalement sont largement reprises au niveau local par les acteurs politiques. De modestes fonds spécifiques européens sont créés pour soutenir les régions. Le pari est qu'un surcroît d'innovation technologique va provenir de partenariats entreprises-monde académique.

Des handicaps conjoncturels et structurels freinent la reprise

Ces politiques d'innovation volontaristes se sont trouvées assez vite confrontées à deux crises financières mondiales et à la crise des dettes souveraines en Europe. Les financements publics sont rares et de plus en plus faibles ; les investisseurs privés privilégient les pays

émergents ou les grandes entreprises qui ont de fortes croissances, au détriment des PME/PMI. Les bureaux d'étude et les centres de recherche, interlocuteurs privilégiés de la recherche française, sont implantés à l'étranger. Les composants et biens intermédiaires sont fabriqués et achetés à l'étranger. L'industrie française est asphyxiée par les marchés européens réduits et son manque de compétitivité à l'international. Le coût du travail continue à être accusé. Aucune évolution structurelle n'est envisagée de peur de perdre des emplois ou de réactions fortes des acteurs. Cette compétitivité faible amène une attractivité faible. L'industrie peine à attirer des étudiants ; elle manque cruellement de main d'œuvre qualifiée à tous les niveaux : ouvriers spécialisés, cadres intermédiaires, ingénieurs, les métiers de l'industrie n'attirent pas. L'emploi est au plus bas. Les grandes entreprises industrielles internationales poursuivent la délocalisation des sites de production dans des pays dont les coûts de main d'œuvre restent inférieurs à ceux des pays européens. Des vagues de licenciement se succèdent sans répit jusqu'en 2015 ce qui entraîne la disparition d'un grand nombre d'entreprises sous-traitantes. La faiblesse du tissu économique de PME/PMI dans un grand nombre de territoires, en particulier ruraux, fait émerger une population de travailleurs pauvres et peu qualifiée soumise aux aléas des contrats précaires.

De nouvelles voies de croissance sont envisagées

L'Etat français ne trouve plus les ressources pour financer une politique d'innovation ambitieuse. On envisage des pistes de développement économique jugées moins coûteuses et avec un retour sur investissement plus rapide. La France cherche notamment à tirer un plus grand bénéfice de ses atouts historique et géographique : un climat doux et des conditions de vie plutôt agréables qui en font une destination privilégiée des touristes asiatiques (notamment chinois pour qui la France représente encore le pays de la mode et du luxe) et des retraités européens dont le nombre ne cesse de croître jusqu'à représenter 40% de la population européenne. Dotée d'un pouvoir d'achat relativement important et d'une espérance de vie de plus en plus longue, cette dernière population s'organise sur de vastes territoires reconvertis dans lesquels tout est orienté vers leur bien-être. Les activités de service à la personne se développent fortement ainsi que les activités liées au médical et paramédical au sens large (soins, gérontologie, dépendance, bien-être, etc…). Par ailleurs, la France reste la première destination touristique dans le monde. Le développement de nouvelles structures d'hébergement, des activités de loisirs et d'animations culturelles de plus en plus sophistiquées constituent de nouvelles sources d'emplois. Les activités économiques emblématiques de la France telles que la gastronomie et la culture accompagnent le développement de ce nouveau tourisme à forte valeur ajoutée.

Une industrie, oui mais très spécialisée et à forte valeur ajoutée

En parallèle, les politiques publiques d'innovation soutiennent les entreprises des secteurs porteurs à fort enjeu sociétal et multi-technologiques qui permettent l'émergence de nouvelles compétences industrielles spécifiques fondées sur des innovations de rupture : secteur de la santé et de l'aide aux personnes, certains secteurs de l'énergie, certains types de transports, construction navale de loisir, aéronautique et espace, agro-alimentaire, pharmacie,

logiciel pour l'industrie et le grand public. Les pouvoirs publics misent sur une industrie de niche, high-tech, très compétitive et à forte valeur ajoutée. L'évolution de la prise de conscience environnementale dans le monde fait que les investissements conséquents consentis par la France dans la recherche et l'innovation dans ce secteur pendant les années précédentes deviennent un atout majeur. Il se crée une population de travailleurs qualifiés, très recherchés par les entreprises qui leur offrent des rémunérations et des évolutions de carrière attractives ainsi que certains avantages (des assurances santé, structures de garde d'enfant, conciergeries, etc.). La mobilité est la règle mais elle est atténuée par des dispositifs de reconversion et de formation continue.

On assiste ainsi progressivement à la mise en place d'une société duale. Pour répondre aux besoins de cette population relativement aisée qui demande de plus en plus de services, se mettent en place des emplois faiblement qualifiés avec des conditions de travail très inégalitaires. Les travailleurs subissent la multiplication des temps partiels avec des horaires atypiques, des contrats précaires. Les entreprises réclament toujours plus de flexibilité et de mobilité. L'Etat, dont les caisses sont vides, se désengage de nombreux droits sociaux et laisse des opérateurs privés gérer le chômage et la précarité. Des assurances privées couvrent au prix fort les périodes d'inactivité. Le nombre de travailleurs pauvres passe la barre des 10 millions en 2020.

L'augmentation de la pauvreté relative crée une demande de produits bon marché faiblement et moyennement technologiques mais qui peuvent être aussi de haute technologie. La fabrication est certes encore en partie française mais elle va être progressivement délocalisée vers les pays à bas coûts. Les volumes sont importants mais la valeur ajoutée faible. Les salaires proposés baissent continuellement. L'appareil productif se renouvelle peu, de même que les procédés. Il s'agit plutôt d'optimisation de process existants. Les PME/PMI vieillissent sans que les pouvoirs publics s'inquiètent de leur renouvellement. Petit à petit, les pays émergents devenus matures pour la production de masse comme de haute technologie prennent progressivement le relais pour satisfaire cette demande. La mondialisation est inversée : les pays européens deviennent les marchés Bottom of the Pyramid des pays émergents.

De fait, en 2030, l'industrie est devenue une activité marginale dans le paysage économique français structuré principalement par les services à la personne et aux loisirs et l'industrie de niche de haute technologie qui les accompagne. L'activité industrielle classique a été reprise petit à petit par les ex-pays émergents devenus les nouveaux pays industrialisés.

4.1 Scénario de rupture 1 – Des technologies clés génériques à forte valeur ajoutée

En Bref

Dans ce scénario, les systèmes de production français et européens fortement impactés par les crises financières de 2008 et de 2011, s'organisent autour des technologies génériques à forte valeur ajoutée. L'ensemble de la chaîne R&D, industrialisation, fabrication est réalisé en France.

Face à une situation économique difficile et ce, dans un contexte où les enjeux sociétaux et environnementaux se font de plus en plus pressants, les acteurs politiques nationaux et européens ainsi que les acteurs industriels décident de donner un coup d'accélérateur au développement d'une économie de la connaissance puissante en s'appuyant sur les technologies génériques. L'économie de la connaissance devient le moteur principal de l'activité industrielle.

Une faible croissance qui dure

En 2013, la situation de la France est difficile. Bien qu'ayant plutôt mieux amortie la crise financière de 2008 que d'autres pays européens, ses entreprises industrielles sont touchées de plein fouet par le ralentissement de la croissance mondiale. L'augmentation du travail précaire et la montée d'une pauvreté relative au sein d'une large couche de la population a comme conséquence directe l'augmentation des importations de produits bon marché fabriqués dans les pays à bas coûts. Les plans sociaux s'enchaînent et touchent durement les secteurs industriels traditionnels. Les banques réduisent considérablement les crédits à l'investissement ce qui freine voire arrête totalement le développement des PME/PMI, y compris à l'international. La consommation de produits technologiques grand public, elle, explose, favorisée par des prix maintenus bas grâce à une production dans les pays aux conditions de travail très en deçà de celles des pays industrialisés. L'accroissement permanent des performances conduit à un renouvellement continuel de ces produits. Le déficit de la balance commerciale de la France atteint des niveaux record. La parité euro-dollar pénalise les entreprises exportatrices. Certains marchés locaux (automobile…) sont saturés, les implantations d'usines se font à l'étranger.

Une réaction politique s'impose

Les pays industrialisés, plombés par leurs dettes, perdent peu à peu leur capacité de leadership. Le monde s'organise en différents centres de pouvoirs qui fragilisent de plus en plus les positions économiques de l'Europe et entraînent une dégradation du climat social. Face à une situation économique et sociale de plus en plus mauvaise, les gouvernements des pays européens se coordonnent pour apporter une réponse cohérente et forte.

Une économie entièrement fondée sur la connaissance va être privilégiée pour relancer durablement la croissance en intégrant les enjeux du développement durable (écologique, économique, social). L'Europe dispose en effet d'un capital intangible très important (production de connaissance et niveau de qualification de plus en plus élevés) qui constitue un atout indéniable vis-à-vis des pays émergents. De nombreux secteurs industriels sont tirés par les dépenses réalisées en R&D : l'aéronautique, la pharmacie, l'agroalimentaire, le logiciel et les politiques volontaristes de soutien aux projets collaboratifs industrie-recherche au travers de structures dédiées (ex : pôles de compétitivité) commencent à donner des résultats économiques satisfaisants.

Principes de la solution : régulation européenne et innovation technologique

L'Europe parie alors sur le potentiel de développement que représentent les technologies génériques à forte valeur ajoutée (Key Enabling Technologies) et les entreprises industrielles françaises et européennes s'engagent fermement dans cette voie en associant grands groupes et PME. En moins d'une décennie, les investissements, publics et privés, pour le développement des bases de connaissance sur ces technologies, les activités de R&D et la production des biens les intégrant sont multipliés par 10. Dorénavant, l'Europe fait front commun et des politiques de régulation et de réglementation en matière de qualité, environnement et conditions de travail sont mises en place : les politiques industrielles sont partagées et les territoires spécialisés. Les centres de décision industriels et de R&D sont implantés dans les pays européens et s'appuient sur les infrastructures de recherche et de formation de haut niveau.

L'innovation technologique est fortement soutenue par des politiques publiques volontaristes. Des aides conséquentes à la création de nouvelles start-up et entreprises innovantes sont consenties et les mécanismes de formation en alternance sont généralisés. Le déploiement de ces activités dans les territoires est soutenu. Les technologies porteuses sont choisies et le niveau d'investissement en R&D atteint 4% du PIB. La recherche est un pilier de l'action publique en Europe. La politique de recherche « amont » est pilotée par l'Etat et les grands organismes, la recherche « aval » associe étroitement secteurs publics et privés.

Les systèmes de production en France en 2030

L'investissement public en R&D a considérablement augmenté et est piloté à un niveau européen. Les Etats et les régions accompagnent le mouvement et investissent dans des programmes de recherche audacieux. Les Etats acceptent les nouvelles règles communes même si elles peuvent leur être dans un premier temps défavorables. Le pilotage stratégique s'appuie sur une connaissance forte du terrain socio-économique européen et sur une analyse fine des besoins des populations. Les performances environnementales sont l'aiguillon de toute nouvelle technologie. Les politiques publiques sont focalisées sur le maintien d'un environnement économique favorable permettant aux industriels de maintenir une activité compétitive en études et en production tout en redistribuant équitablement les gains. Elles sont régulées à un niveau européen, tout particulièrement par une harmonisation fiscale et des exigences environnementales et sociales fortes. La création et le développement d'entreprises innovantes sont fortement encouragés par les pouvoirs publics, associés aux banques, qui au travers d'incitations financières directes et indirectes pilotent les choix technologiques. La France n'abandonne cependant pas certains secteurs vitaux pour le pays (biens de consommation de base, transports publics, gestion de l'eau et des déchets…). Ils sont confiés au secteur de l'économie sociale et solidaire qui les prend en charge au nom de l'intérêt public.

Les nouvelles technologies irriguent l'ensemble des activités sociétales et économiques française et européenne. Le système éducatif met fortement l'accent sur l'enseignement des

sciences, des techniques et des technologies dès le primaire. En France, il étend ses coopérations avec les pays voisins y compris sur le plan programmatique, tout en se décentralisant pour mieux réguler les inégalités d'accès à l'école sur les territoires. La créativité est favorisée dans les méthodes d'enseignement. Elle est également un indicateur majeur des évaluations des élèves et étudiants. L'innovation devient une priorité dans les entreprises comme dans les écoles d'ingénieurs et les universités. L'enseignement supérieur et la recherche développent d'une part une recherche fondamentale importante au sein de réseaux nationaux de manière à assurer la première place européenne pour la production de connaissance, de technologies et d'innovation à moyen et long terme et d'autre part des plateformes d'expérimentation en partenariat avec le secteur privé sont installées dans l'environnement universitaire. Les résultats de recherche sont décuplés par la pluridisciplinarité devenue la règle et se diffusent très rapidement au sein des systèmes de production industriels grâce à des partenariats pérennes entre les industries et les centres de recherche.

De leur côté, les entreprises investissent continuellement dans la R&D. « Concevoir et fabriquer » en France et en Europe constitue un de leurs axes stratégiques. Des secteurs spécifiques d'industrialisation basés sur de grands projets sont définis par les industriels en partenariat avec l'Etat. Ce sont prioritairement ceux où une puissance industrielle et des compétences existent en France et en Europe et qui peuvent intégrer les réponses aux besoins des populations (santé, vieillissement, développement durable, énergie, mobilité, communication, développement personnel, loisirs, sécurité des personnes sécurité face aux risques naturels et techniques, etc.). Cette stratégie est confortée par un investissement massif dans les technologies génériques à forte valeur ajoutée pour lesquelles les industries européennes ont encore de l'avance. Cet avantage permet d'investir dans des systèmes de production et des produits intelligents à haute technologie et à forte valeur ajoutée et de développer des équipements et des organisations plus efficaces par rapport aux critères environnementaux et humains. La fertilisation croisée des secteurs (approche multidisciplinaire et multiéchelle, intégration Matière-Energie-Information-Connaissance, symbiose homme-système) permet une dynamique d'innovation inédite et multiplicatrice.

Le développement de nouvelles technologies de fabrication avancées est un objectif prioritaire. De nouveaux procédés de fabrication économisent énergie et matière première. Il s'appuie sur des connaissances de plus en plus approfondies sur les procédés et processus de transformation ainsi que sur des technologies de l'information toujours plus puissantes (ordinateurs, capteurs, interfaces, outils de virtualisation, outils de développement rapide, modèles de plus en plus proches du réel, modèles multidisciplinaires et multi-niveaux, méthodes et outils de traitement). L'intelligence embarquée dans ces technologies permet d'obtenir des produits très complexes, à forte valeur ajoutée et propres. Les produits sont personnalisés et satisfont les besoins des individus. Les industries traditionnelles ont acquis un avantage concurrentiel évident, par l'usage de ces technologies qui diminuent les délais de production et augmentent la productivité, et alimentent le marché domestique. La France voit émerger des industries high-tech très compétitives qui se développent à l'international.

Au niveau des systèmes de production (équipement, atelier, usine), ces technologies assurent une optimisation de la conception conjointe produit-process-service d'une part et une plus grande contrôlabilité d'autre part. Les systèmes de production industriels deviennent beaucoup plus réactifs et gagnent en agilité, flexibilité et adaptabilité. Le délai de mise sur le marché(« time to market ») est raccourci tout comme la monté en cadence (« ramp-up »). Les performances des produits et systèmes de production sont assurées même avec de fortes variabilités (réalisations, spécifications). De nouveaux moyens et supports de coopération sont développés à grande échelle avec des installations pilotes et des démonstrateurs. Les organisations industrielles se transforment de manière à mieux intégrer les sauts technologiques et à répondre aux objectifs sociétaux.

La production et la logistique se pilotent de manière cohérente en répondant aux objectifs de développement durable depuis la maison ou le bureau alors que la chaîne opérationnelle est répartie dans le monde entier en utilisant des moyens informatiques, des logiciels et des systèmes de prise d'information de plus en plus performants. Des infrastructures informatiques nouvelles et les modèles développés permettent la mise au point virtuelle des productions en assurant une plus grande réactivité et en garantissant une qualité du produit et du service. Les entreprises sont regroupées en clusters et coopèrent pour le développement de nouvelles technologies clés. La valeur produite permet de s'appuyer sur des infrastructures logistiques mondiales et performantes. Des ponts systématiques sont faits entre différents secteurs d'activité ; les décloisonnements sont devenus la règle.

Les conditions de travail sont prises en compte au plus tôt dans la conception du système de production en privilégiant le bien-être et la sécurité des travailleurs, notamment en réduisant la pénibilité physique au moyen des technologies de la robotique de service dans l'ensemble des situations de vie de l'équipement et par l'adaptation permanente du poste de travail au besoin du personnel et aux tâches à assurer. Les dimensions cognitives du travail sont prises en compte dans l'apprentissage et constituent une ressource pour le développement des individus. Le travail nomade est facilité par le développement des technologies de l'information et les mobilités choisies. Ces conditions de travail favorisent la créativité et l'innovation. La formation continue est facilitée tout au long de la vie et permet de mieux anticiper les évolutions de qualifications. Les reconversions sont anticipées et accompagnées au plus près des besoins des individus. Les temps et activités de travail sont souples et construits avec les travailleurs.

La France et l'Europe ont retrouvé des taux de croissance supérieur à 3% l'an. Les produits sont très technologiques et sont sans cesse irrigués par de nouvelles innovations. Différents types d'industrie cohabitent : une industrie high-tech et très dynamique des technologies génériques à forte valeur ajoutée dont le leadership est en Europe ; une industrie de biens intelligents répondant aux attentes de la population, bien souvent composée de clusters de PMEs ; des entreprises réparties également sur l'ensemble du territoire, une industrie de biens « vitaux » structurée par les entreprises de l'économie sociale et solidaire.

4.2 Scénario de rupture 2 : Des organisations circulaires Multiéchelles

En bref

Dans ce scénario, le poids grandissant des réseaux sociaux via internet ainsi que celui des organisations non gouvernementales contribuent à une prise de conscience collective des problèmes humanitaires et environnementaux à l'échelle de la planète. Cette demande sociétale rejoint le problème des industriels qui ont de plus en plus de mal à s'approvisionner en matière et en énergie. La production locale et circulaire devient prépondérante par la valeur que lui accordent aussi bien les consommateurs que les entreprises alors que certains secteurs, qui ont une demande en énergie forte, continuent à se développer de manière plus centralisée et mondiale. Cette nouvelle organisation dynamise l'emploi, préserve mieux la biosphère et favorise une économie centrée sur les usages. L'industrie est à trois facettes : une industrie de re-transformation, une industrie d'information et de gestion, une industrie de service.

Une forte inquiétude pour la biosphère et la faim dans le monde

En 2014, la demande en biens de consommation et en énergie explose dans toutes les régions du globe, entrainant un épuisement des matières premières disponibles et une surconsommation d'énergie et d'eau. Les gaz à effet de serre générés ont un impact important sur le climat qui maintenant menace directement la vie de millions d'hommes dans les zones touchées par des catastrophes climatiques. La population croît régulièrement et se concentre dans d'immenses mégalopoles où tout le monde ne mange pas à sa faim. Les problèmes de pollution, de gestion des déchets, de distribution d'énergie, d'accès à l'eau potable sont devenus extrêmement problématiques et les états n'arrivent plus à les gérer. Les excès de la mondialisation financière ont accentué les inégalités partout dans le monde, y compris dans les pays industrialisés.

Information mondialisée et société civile

L'usage des TIC à grande échelle a permis une diffusion extrêmement rapide de l'information, et a intensifié les échanges entre les communautés au travers des réseaux sociaux et de l'internet. Le niveau de qualification augmente régulièrement y compris dans les pays émergents. On voit se développer un sentiment d'appartenance à une même humanité et une prise de conscience de l'interdépendance des activités humaines à l'échelle de la planète. Les états ont beaucoup de difficultés à donner des réponses pragmatiques aux enjeux sociétaux, ce qui favorise la montée en puissance des acteurs non étatiques. Ces derniers organisés en réseaux disposent de ressources importantes et se professionnalisent. Ils sont de plus en plus sollicités par les états dans la mise en place de politiques publiques et dans la prise en charge de catastrophes humanitaires. Ils représentent une société civile éduquée et demandeuse d'une participation plus forte aux affaires publiques. Le pouvoir mondial se redistribue.

Prise de conscience collective

Face à l'ampleur des problèmes et à leur caractère d'urgence, une prise de conscience globale émerge pour une meilleure prise en compte des besoins humains dans leur

biosphère. En moins d'une décennie, les pays européens et les individus acceptent l'idée de leur dépendance aux matières premières et à l'énergie. Le bien-être et la santé sont devenus les valeurs dominantes de la société, accentuant les demandes de satisfaction de vie et de respect des éco-systèmes.

Principes de la solution : économie circulaire et indicateurs globaux

Socialement, les attentes vis-à-vis des entreprises changent. Elles ne seront plus dorénavant évaluées sur leur seule rentabilité financière. Les indicateurs de performance des entreprises comme des états incluent aussi, voire principalement, des indicateurs écologiques et sociaux.

Une économie circulaire s'impose comme une nécessité et les populations et les entreprises sont préparées dès 2015 à ce nouveau schéma organisationnel et sociétal.

La mondialisation a évolué vers un réseau de régions résilientes. Chaque région répond aux demandes variées des populations locales. Les pays émergents, dont le pouvoir d'achat croît régulièrement, produisent massivement pour les besoins essentiels tout en développant une industrie de niche à forte technicité. Les pays européens souhaitent un nouveau confort adapté au vieillissement de leur population, ce qui incite l'industrie à produire des solutions innovantes et personnalisées. Ces régions sont en réseau, ce qui permet efficacité et réactivité pour lutter contre les fléaux mondiaux comme le réchauffement climatique et les difficultés d'accès à l'eau potable. Le transport est maintenant facturé à un coût complet qui prend en compte son impact sur l'environnement ; les échanges mondiaux ont été réduits au juste nécessaire. Il se crée alors une nouvelle organisation où chaque type de produit a trouvé un territoire à la dimension la mieux adaptée à ses besoins en ressources, à son marché et aux attentes des populations. Ce pavage multiéchelle permet de garder une symbiose entre les communautés et évite tout repli sur soi.

Les lieux de production et de consommation se sont fortement rapprochés tout en assurant les mêmes performances. La durée de vie des produits grand public est rallongée. Les entreprises appuient leur rentabilité sur la minimisation de la fabrication de produits neufs et des coûts d'utilisation, ce qui les rend moins dépendantes des disponibilités en matériaux et énergie. La maintenance, la réparation, le recyclage et la réutilisation sont la règle. Les entreprises en profitent pour fabriquer à la demande puisque les circuits courts sont devenus possibles et rentables et permettent une réactivité et une personnalisation accrues. La notion de stock disparait dans certains domaines.

L'usage, le service rendu, est privilégié à la possession du bien. La demande des consommateurs évolue ainsi de la possession vers la satisfaction d'un besoin plus personnel et réaliste. Dans le même temps, de plus en plus d'entreprises facturent leurs prestations à l'usage et par des abonnements à des services. L'économie de fonctionnalité a investi une part importante de l'économie. Elle envahit d'abord le B2B pour les biens d'équipement et petit à petit s'impose aussi pour les produits de consommation.

Ces nouveaux réseaux de services s'appuient sur des infrastructures nouvelles, physiques et organisationnelles. En interne, l'entreprise s'équipe de nouveaux moyens plus réactifs et

adaptés (micro-usine), d'un système de gestion de l'énergie, de l'eau, des déchets et des produits usagés avec pour objectif un bilan « énergie et matière » nul, ainsi que d'une organisation permettant de répondre très rapidement aux demandes. En externe, une mutualisation performante et moins consommatrice est mise en place, par exemple pour les besoins en infrastructure de télécommunication. La gestion de l'ensemble des déchets et des produits usagés se fait d'une façon plus industrielle et plus efficace (équipement de séparation et de recyclage, organisation, gestion). Les acteurs financiers mettent en place de nouveaux schémas qui permettent d'amortir, dans un premier temps, la transition et les investissements nécessaires.

Les technologies de production évoluent vers des technologies de re-transformation qui permettent de réutiliser indéfiniment les matières en les re-transformant sur place puisqu'elles sont déjà au plus proche des utilisateurs et de créer ainsi continuellement de nouveaux produits. La demande d'énergie est alors locale, de niveau raisonnable et à la demande, ce qui entraine une réorganisation adaptée de la production. Des industries de re-configuration des produits se créent à commencer par les services rendus entre les personnes et le développement du commerce consumer to consumer. De nouveaux procédés industriels sont inventés et développés : on est capable de collecter des produits non utilisés, de les démonter et de préparer matières et composants pour de nouveaux enjeux, de transformer ces matières et composants dans de nouvelles production et de les réassembler dans de nouveaux produits. Des micro-usines sont construites près des sites de consommation. Les chaînes logistiques directes et inverses sont intégrées. Les circuits courts sont favorisés. De nouveaux partenariats se développent au sein d'un même territoire favorisant la circularité des matières et de l'énergie. Satisfaire le consommateur, l'utilisateur, le citoyen est le moteur de la production. Les produits sont des supports dans des services qui évoluent en permanence ; la complexité réside dans l'ensemble produits et services qui se combinent dans des solutions variées et personnalisées.

Les technologies qui supportent cette industrie de la re-transformation et cette organisation servicielle jouent un rôle moteur dans l'extension de cette nouvelle industrie et se développent fortement. Les technologies de l'information et de la communication (composants, capteurs, modèles, outils de traitement) sont structurantes, elles permettent une plus grande réactivité et « contrôlabilité ». De nouveaux usages de ces technologies s'inventent tous les jours. Ce saut nécessite des développements de R&D adaptés (procédés, matériaux, gestion des flux de matière et d'énergie et fluide). De nouveaux procédés plus adaptés à la petite série et au développement durable sont mis en œuvre. Les performances des produits sont assurées même avec de fortes variabilités (réalisation, spécifications,…). Des méthodes, modèles et outils de conception des produits comme des systèmes de production, dans une approche multi-disciplinaire et multiéchelle, d'intégration Matière-Energie-Information-Connaissance, de symbiose/interface intelligente homme/système, sont développés en tenant compte de ce nouveau paradigme.

L'usage de ces technologies permet des innovations organisationnelles remarquables aussi bien dans les entreprises que dans la vie quotidienne. Le saut organisationnel généré par ces changements a simultanément induit une révolution de l'organisation au sein du système éducatif et du monde travail. Le premier gagne en souplesse dans des rapports de proximité avec des populations qui restaient jusque-là éloignées géographiquement et socialement des formes d'apprentissages les plus efficaces. Le second privilégie la qualité de vie, la formation permanente, la mobilité protégée, la protection du salarié, le travail nomade. L'implication active de tout individu et citoyen est un élément clé de l'organisation. Il est alors acteur de l'organisation du travail et de sa formation permanente. Il trouve alors les moyens de préserver sa santé et de réguler ses revenus sur l'ensemble de sa vie. Il pilote ses modes de consommation et influe sur les modes de production. Cette recherche d'un bien-être au travail par chacun n'empêche pas le développement de comportements collectifs et coordonnés, ouvrant la voie à des innovations sociales réelles. Les gains financiers apportés par cette organisation locale et les circuits courts d'approvisionnement permettent de garder le coût du travail constant.

La situation de l'emploi s'améliore nettement. Cette industrialisation circulaire a deux vertus : elle consolide les emplois puisqu'ils sont des maillons de la même chaîne de valeur et elle crée des emplois supplémentaires et locaux par sa nature servicielle. Elle appelle de nouveaux métiers à l'interface produits et services : des métiers de suivi de la clientèle tout comme des métiers de recyclage et de remise à niveau de produits. De nouvelles formations centrées sur la problématique de la circularité émergent. Les questions de développement durable ne sont plus simplement le supplément d'âme des formations mais le cadre et le cœur des formations d'ingénierie. Les bassins d'emploi proches des sites de production sont gérés en commun par l'ensemble des acteurs sociaux.

En 2030, les entreprises vivent à la fois dans leur territoire et dans un réseau mondial où leurs savoir-faire sont appréciés et valorisés. Les individus construisent eux-mêmes leurs organisations de vie et de travail. Des collectifs de travail se créent et les échanges au sein de ces collectifs et avec d'autres collectifs conduisent à des apprentissages innovants et au développement de compétences individuelles. Le monde se construit différemment avec des territoires, petits et grands, imbriqués et dépendants, qui ont trouvé une légitimité pour le XXIème siècle. L'industrie est maintenant tripartite : une industrie de re-transformation, composée d'une multitude d'entreprises plus petites et plus locales en réseau ; une industrie d'information et de gestion qui coordonne et valorise tous ces réseaux en lien avec les demandes des consommateurs ; une industrie de service qui satisfait et réagit aux attentes sociétales et environnementales (climat, mobilité, développement durable, santé).

4.3 Scénario de rupture 3 - Néo-industrialisation dans un contrat social rénové

En bref

Dans ce scénario, la crise économique, sociale et environnementale que connaît la France depuis plusieurs décennies débouche sur une entière refonte des rapports sociaux. Logique économique, logique sociale et logique environnementale ne sont plus antinomiques. Un nouveau contrat social s'établit entre la société et les entreprises de production. L'innovation sous toutes ses formes (technologique, organisationnelle, sociale) est une priorité absolue et est pilotée conjointement par l'ensemble des acteurs. Le management de la connaissance est le levier principal. La coopération, le mode projet et l'innovation ouverte sont les modalités privilégiées de la création de valeur.

La cohésion sociale au bord de l'explosion

En 2012, la France et les pays européens sont arrivés aux limites du pacte social issu des négociations de l'après-guerre dans un contexte de croissance quasi nulle depuis plusieurs années. Les crises financières à répétition et la montée des pays émergents sur la scène mondiale ont créé des tensions très fortes dans les entreprises. La montée en puissance des fonds de pension a conduit à accentuer la pression sur les entreprises qui doivent justifier d'une rentabilité à court terme tandis qu'une partie excessive de la valeur créée est captée par la finance sans réelle prise de risque. La montée du travail précaire a créé une frange de pauvreté qui contraste avec une relative abondance pour une classe moyenne et supérieure encore protégée de la précarité et de la brutalité de certains rapports sociaux. Ces disparités accrues largement diffusées via les réseaux d'information utilisant Internet mettent à mal la cohésion sociale. La mondialisation est très rude, soumise aux mouvements de capitaux et à leur volatilité. Les attaques répétées contre l'euro fragilisent les états européens. Les dettes souveraines laissent peu de marge de manœuvre aux politiques pour soutenir le secteur économique et amortir les difficultés sociales. La richesse n'est plus partagée, l'avenir est incertain pour des millions de français qui ne voient pas de solution venir pour leurs préoccupations majeures : l'emploi, la prise en charge des personnes âgées et le maintien d'un système de retraite décent ; le changement climatique et la préservation de la biodiversité, de l'agriculture et des territoires ; l'accès au logement décent ; l'éducation et la formation pour que les jeunes accèdent à des métiers de plus en plus qualifiés.

La société impose le débat

Ce climat social très difficile ouvre la voie à un débat sur l'avenir de la France et des français. Face à un contexte explosif et à des urgences sociale, environnementale, politique et économique, un nouveau pacte social est conclu au niveau européen entre les différentes parties prenantes : les consommateurs, les salariés et les entrepreneurs. Il implique la mise en place d'une réglementation européenne en matière d'harmonisation fiscale, de règlements des marchés financiers, de lutte contre le dumping social et un travail complémentaire de normalisation. Ce nouveau compromis permet d'envisager à nouveau un avenir commun et un monde en développement.

Principes de la solution : la responsabilité sociale

Les rapports sociaux sont transformés en profondeur en étant replacés au cœur du dispositif des systèmes de production respectueux de leur environnement, écologique, social et économique. De nouveaux contrats se développent entre l'industrie et la société sur la base d'une responsabilité sociale et environnementale élargie et acceptée. C'est une logique de long terme qui prend le pas sur une logique de court-terme.

Sous l'impulsion de l'Union européenne se met en place une nouvelle organisation des marchés. De nouvelles régulations du monde financier sont établies. Les pratiques de concurrence déloyales sont traquées et condamnées. Les mouvements de capitaux spéculatifs sont fortement taxés. Les paradis fiscaux sont démantelés et les états rejoignent les nouvelles régulations internationales qui sont plus exigeantes. Les comportements éthiques des entreprises sont valorisés sous forme d'incitations fiscales par les états et sous forme de labels reconnus par les consommateurs.

Dans un contexte financier assaini et sécurisé, l'Union européenne mène une politique engagée et volontariste avec l'ensemble des acteurs et coordonne les efforts des pays dans les domaines suivants : l'harmonisation du droit social en privilégiant les législations les plus protectrices, le soutien à l'innovation pour les entreprises industrielles qui développent des process de fabrication et des procédés éco-conçus, de nouveaux business orientés produits/services, le rapprochement des systèmes éducatifs et de formation des entreprises. L'éducation et la formation en particulier sont redevenues des secteurs ultra-prioritaires. Les organisations professionnelles anticipent l'évolution de leurs besoins en compétences. Plus aucun jeune ne sort du système scolaire sans qualification répondant à des besoins à court terme comme à long terme. Toute mobilité professionnelle interne ou externe est accompagnée de dispositifs de formation. La formation continue est au cœur des entreprises industrielles notamment pour assurer la transmission des savoir-faire entre générations.

L'entreprise est devenue un lieu d'épanouissement qui favorise le développement des compétences et la cohésion sociale. Les ressources humaines ne sont plus un moyen de faire fonctionner le système productif mais une finalité pour développer l'innovation. Les mobilités géographique et professionnelle sont cohérentes ; les parcours de travail sont sécurisés tout au long de la vie ; le développement des technologies permet le travail nomade et chacun peut construire et organiser sa propre connexion entre vie professionnelle et vie privée. Les conditions de travail liées à l'organisation et à l'application des critères d'évaluation omniprésents sont améliorées. Les jeunes européens, dont le niveau d'éducation ne cesse de croître régulièrement depuis le milieu des années 90, portent et diffusent des valeurs progressistes en matière sociale, environnementale et politique qui transforment les rapports inter-personnels et sociaux des sociétés. Très prisée par les entreprises pour sa capacité créative, cette population est exigeante vis-à-vis des entreprises qui l'emploient. Elle cherche à concilier vie privée et vie professionnelle. La carrière n'est plus le seul objectif des cadres supérieurs. La préservation de la qualité de vie est également un critère dans le choix de l'entreprise et du poste. Ces nouvelles aspirations irriguent l'ensemble du monde du travail y

compris dans les secteurs traditionnellement très contraints et caractérisés par du temps partiel subi et fractionné.

Cette régulation est mise également en place au niveau mondial. Dans les pays émergents, on voit se développer une classe moyenne aspirant à un niveau de vie supérieur. Elle aspire à des rapports sociaux plus respectueux des droits de l'homme et s'implique politiquement notamment au travers d'organisations non étatiques. Le développement des réseaux sociaux et de l'internet diffuse largement une culture des rapports humains fondés sur le respect qui crée une conscience accrue de l'interdépendance des activités humaines, tant au niveau social que politique. Dans ce contexte d'une mondialisation pacifiée, les entreprises ne pratiquent plus une concurrence féroce entre elles mais développent des relations de partenariats.

Tous les efforts sont mis en œuvre pour installer une dynamique d'innovation technologique, organisationnelle et sociale. Cette dynamique est notamment aiguillonnée par la forte sensibilisation des populations comme des entreprises aux questions de bien-être au travail comme aux questions environnementales et d'éthique. Les personnes achètent plutôt des services dont les produits ont été éco-conçus, respectueux de l'environnement et socialement responsables. Les produits sont "intelligents", personnalisés, multi-technologies et supportent de nombreux services associés. Pour répondre à cette demande, les entreprises privilégient l'innovation en intégrant au plus tôt l'utilisateur dans le processus de conception. Ce dernier contribue à la conception mais également à la production du produit au travers des nombreuses plateformes d'innovation ouverte disponibles sur les réseaux. La propriété intellectuelle et industrielle disparaît au profit d'accords souples entre partenaires dans lesquels l'échange et le partage de données sont la règle. L'utilisateur contribue également à renouveler les fonctionnalités et à développer de nouveaux services au travers de nouveaux usages. Plus informé et plus attentif à son mode de consommation, il est un partenaire à part entière de l'entreprise et non plus simplement un consommateur anonyme.

Le développement de ces formes d'innovation ouverte, transverse, continue s'appuie largement sur la connaissance. L'accès, le stockage, l'intégration, la diffusion et la valorisation des connaissances est un élément essentiel des organisations. La capacité des entreprises à manager la connaissance externe et à la valoriser est un atout discriminant. Seules les entreprises capables de mettre en place des dispositifs pour intégrer les connaissances externes (organisations apprenantes) et les diffuser en interne (E-learning) ont pu se développer. Il ne s'agit pas de nouveaux développements informatiques dans le cadre d'une « ICT-based economy » mais bien de nouvelles technologies de l'information et de la communication au sein d'une « ICT-based society ». Ces dernières associées au développement d'internet, des réseaux sociaux et de la réalité virtuelle ont profondément modifié les modes de vie dans les domaines du politique, de l'éducatif, des loisirs, etc. L'impact sur les structures de formation est important ; chacun a accès à une multitude de contenus cognitifs et construit ses apprentissages.

Les capacités d'innovation requises pour répondre aux demandes des « innosummers » nécessitent de nouveaux systèmes de production pilotés en mode projet. Les entreprises travaillent en partenariat, mettant en commun ressources et personnels sur une durée limitée, que ce soit au stade de la conception, de la production ou de la distribution du produit. Ceci implique le développement de réseaux d'entreprises étendus, flexibles et réactifs. La création de bases de connaissance est un élément essentiel de cette organisation en réseau. La connaissance doit être transverse, distribuée et réticulaire, accessible très rapidement, hybride/intégrée/appliquée, intelligente et personnalisée, codifiée avec l'établissement de standards et de modèles, mieux exploitée et transformée en dispositif technologique pour l'apprentissage, plus collaborative et partagée entre différentes catégories d'utilisateurs plus ou moins experts. Ceci conduit à un développement de technologies équilibrées entre les technologies high-tech et celles liées à la re-transformation et au recyclage, avec la préoccupation permanente d'économie de matière et énergie.

De nouvelles formes de travail ont émergé dans lesquelles les technologies de l'information et de la communication sont centrales. Les travailleurs sont multi-compétences et hautement qualifiés. La coopération est devenue le mode d'organisation principal des acteurs privés et publics. Les organisations privilégient un pilotage en mode projet avec regroupement de compétences ad-hoc pour faire face aux besoins de la société en matière de santé, de logement, de formation et de gestion des énergies. Les partenariats public-privé sont privilégiés pour répondre à des problématiques sociétales de grande ampleur (épidémies, vaccins, problématiques alimentaires). Des regroupements d'institutions de recherche internationales sont créés pour réaliser des programmes scientifiques de très grande taille nécessitant la mise en commun de ressources et moyens.

En 2030, la société française est harmonieuse. Les consommateurs, les entreprises et les salariés coopèrent autours d'objectifs partagés et pour le bien-être de tous. Les systèmes de production ne sont plus une activité séparée des autres activités mais sont au cœur de la société. La connaissance circule librement et est devenu un bien commun. Chacun peut contribuer à la création de nouveaux produits, usages et organisations.

5- Mutations industrielles

De ce travail de prospective, il ressort clairement trois grandes mutations industrielles pour lesquelles la recherche scientifique a des réponses à apporter tant sur le plan technologique qu'organisationnel et socio-économique.

i. L'industrie devient un acteur central et ouvert de la société dans laquelle elle vit. La performance industrielle doit être entièrement repensée dans une perspective sociétale qui intègre bien évidemment l'économie.

ii. De nouveaux acteurs, tout aussi légitimes que les acteurs historiques, rentrent dans le cercle des acteurs des systèmes de production. Il faut inventer et construire la manière d'interagir de tous ces acteurs de logiques et de cultures différentes.

iii. Une révolution industrielle est en train de naître avec le développement des technologies clés génériques. Il faut rapidement être capable de les maitriser pour en construire les usages, les applications et les produire.

5.1 Première mutation : une performance industrielle en phase avec les attentes de la société

Après avoir passé plusieurs décennies à construire et optimiser un monde industriel et des affaires, centrés sur le client et l'actionnaire, fortement indépendants de la société et de ses attentes, l'industrie doit reprendre une place légitime comme contributeur essentiel et central de la société. La société attend que les systèmes de production aient des propriétés adaptées à la demande générale de bien vivre, demande qui s'appuie sur de la création de richesse pour le pays, sur un besoin de sécurité, d'emploi, de bien-être au travail et respectueux de l'environnement. Cette demande se mesure plus par un indicateur de développement humain qui reste à construire que par l'indicateur économique et financier classique. La performance industrielle change ainsi de nature.

D'un point de vue scientifique, il s'agit de mettre au point les modèles permettant de concevoir ces nouveaux systèmes puis de les piloter en obtenant la performance attendue. Quelles sont les questions essentielles pour demain ?

Le cœur structurant d'un système de production est sa chaîne logistique qui permet de produire et distribuer au plus près des marchés et dans le monde entier. Le monde équilibré attendu nécessite des organisations de production à différentes échelles qui, agrégées, répondent aux enjeux sociaux et environnementaux tout en gardant l'optimisation économique. La chaîne logistique est ouverte, en boucle continue avec des performances attendues variées suivant les chainons. Les modèles circulaires micro-macro, local-global et technologie-compétence doivent être privilégiés. Ces nouveaux modèles s'appuient sur des contrats de collaboration et de partenariat renouvelés entre les entreprises et nécessitent une prise en compte précise des compétences disponibles tout au long de la chaîne. La performance d'une chaîne logistique dépend tout autant de la qualité des collaborations entre les différents partenaires que des maillons élémentaires.

La nouveauté est surtout dans les attentes mieux formulées et mieux défendues par la société qu'auparavant : une demande forte de sécurité et de production propre.

La demande de sécurité est devenue primordiale pour une partie importante de la population. Elle englobe des points de vue très différents et complémentaires. La sûreté des installations et la sécurité et santé au travail suscitent toujours des attentes fortes et non négociables ; ces deux thèmes ne peuvent être négligés. La sécurité appelle aussi la place de chacun dans la société, celle-ci étant vue par l'entrée « contrat social » liant tous les acteurs du système industriel, mais aussi par l'entrée d'une société inclusive avec la vulnérabilité des

populations. Produire dans un monde où on se sent en sécurité est donc d'une actualité pressante.

La demande écologique est maintenant mieux formulée depuis la prise de conscience de la limitation des quantités de ressources disponibles. Produire de façon éco-efficiente est devenu un thème de revendication, aussi bien des consommateurs que des producteurs. Il s'agit principalement d'intensifier la recherche dans ce domaine pour proposer des solutions prouvées et de qualité. Des approches nouvelles sont attendues pour améliorer l'intensité énergétique et en matières, des produits du marché, pour développer les systèmes de recyclage et de réutilisation et des modes d'action publique innovants en la matière. Les méthodes d'éco-conception sont à formaliser, à supporter scientifiquement et à diffuser très largement.

On ne peut ignorer que des solutions innovantes commencent à émerger. Elles ont un vrai et fort potentiel pour les systèmes industriels durables. Concevoir des solutions plus que des produits ne présente a priori que des avantages… si on se met dans les conditions qui les permettent. Le travail scientifique est nécessaire pour inventer les systèmes réels d'économie de fonctionnalité qui soient vraiment soutenables. Les outils d'ingénierie nécessaires ont besoin de s'appuyer sur des concepts scientifiques outillés pour les systèmes de systèmes et la modularité. La rupture dans les performances provient pour une part importante de changements radicaux dans les modes de consommation qu'il s'agit d'anticiper, voire d'inciter fortement.

5.2 Deuxième mutation : des acteurs nouveaux dans les systèmes industriels

Pendant longtemps, la production et l'industrie étaient réservées à quelques spécialistes qui s'étaient construit un monde dans lequel il était très difficile d'entrer. L'ouverture de l'industrie vers la société bouleverse les parties prenantes des systèmes industriels en y introduisant des non-techniciens qui sont tout aussi légitimes que les techniciens dans les prises de décision. Les partenaires sociaux et les acteurs publics sont depuis longtemps des parties prenantes aux influences variables selon les périodes. Ils doivent maintenant jouer pleinement leurs rôles. Il est en particulier essentiel de rénover le dialogue social et de repenser les rapports au territoire. Par ailleurs, depuis peu, la nécessité d'innovation a rappelé le monde de la recherche à son ambition de progrès social. De plus en plus le citoyen, l'individu des réseaux sociaux comme l'ONG, s'imposent comme partenaires à part entière. Ces nouvelles parties prenantes sont assez différentes les unes des autres et culturellement éloignées du monde industriel. Il est indispensable de leur donner la place qu'elles doivent avoir en les outillant scientifiquement, socialement et technologiquement. Elles ne revendiquent pas seulement d'être prescriptives (dites-moi ce que vous voulez et je le ferai) mais surtout de co-concevoir et de co-produire les systèmes avec les acteurs industriels. Les systèmes de production se doivent de permettre à ces nouveaux acteurs de natures variées et de cultures éloignées d'interagir.

D'un point de vue scientifique, il s'agit de concevoir les mécanismes qui vont permettre de transformer les relations entre tous ces acteurs variés. Une évolution des qualités des systèmes de production vers plus de responsabilité, de collaboration, de partenariat, d'ouverture, d'innovation, de transparence… est nécessaire.

La collaboration dans le monde moderne et ouvert pose autant de problèmes humains que de problèmes techniques. Les équipes de conception et de production sont réparties dans différentes entreprises et dans différents pays, même quand elles sont dans la même entreprise. Le travail à distance prend une ampleur nouvelle et les dispositifs supports sont à compléter et amplifier, aussi bien par la technologie que par les pratiques. La communication des acteurs dans ces nouvelles chaînes de partenariat appelle des organisations et des techniques qui permettent des échanges efficaces tout en préservant la confidentialité des données de chacun.

La responsabilité sociale et sociétale est un pivot du monde industriel futur. Elle s'est construite ces dernières années sur la demande de sécurité des installations et de protection de l'environnement, principalement sur l'arrêt des rejets dangereux et sur la gestion des déchets. Elle questionne maintenant, entre autres, le rapport aux territoires, les éthiques et les modes de gouvernance. Les modèles éco-responsables de la chaîne de production restent à consolider à partir des nombreux travaux en cours pour servir de référent à toute action individuelle de l'entreprise mais aussi à toute action publique incitative.

L'innovation ouverte, participative, est une réponse forte. Par nature, elle intègre tous les acteurs dans une collaboration vertueuse où l'expertise de chacun est reconnue et elle force le travail aux interfaces par la confrontation des points de vue. Elle soulève cependant la question des nouvelles méthodes de travail, comme par exemple, savoir comment les réseaux sociaux contribuent à la conception d'un produit ou à l'implantation d'une usine. Le problème scientifique est un problème de mise en activité conjointe de partenaires variés et de support à cette activité. On ne peut pas ne pas s'interroger sur les nouveaux modes de recherche partenariale qui faciliteront ces échanges.

5.3 Troisième mutation : l'arrivée de technologies clés génériques d'un nouveau type va révolutionner les technologies de fabrication.

L'industrie progresse par révolutions. En son temps, l'énergie a changé le travail physique, puis l'informatique la gestion et la logistique l'organisation. Les technologies clés génériques annoncées bouleverseront-elles les produits et la production ? On peut légitimement le penser quand on voit la miniaturisation possible des matières et la minimisation des énergies consommées d'une part, l'explosion de la quantité d'information disponible et des puissances de traitement d'autre part. Il faut prendre en compte ces nouvelles capacités pour repenser les nouveaux systèmes de production. Ceci bouscule les technologies et les organisations existantes, y compris les méthodes de travail, mais aussi annonce des conceptions différentes des technologies à inventer.

Les objectifs scientifiques sont variés. Au niveau de la technologie générique elle-même, il s'agit de maitriser sa production, à la fois dans les phénomènes physiques de la technologie et dans la réalité de la chaîne de production. Le progrès social provient par la suite des applications réalisées et il est essentiel de concevoir des technologies différenciantes qui donnent un avantage industriel et répondent au besoin de progrès social. Ces innovations ne valent que pour leurs usages ; ces nouveaux usages sont fortement questionnés et les usagers souhaitent être parties prenantes dans leurs conceptions. Le développement des compétences associées aux technologies est incontournable. Il est important de noter l'évolution potentielle attendue dans toutes les industries (historiques et actuelles, pas seulement nouvelles). Des questions scientifiques se posent aussi sur la transformation des systèmes de production de produits actuels. Le renouveau industriel se construit pour une nouvelle performance ; il peut et doit toucher tous les secteurs industriels et profiter pleinement aux secteurs traditionnels. Enfin, l'outillage des professionnels de la production est à construire. La gestion de la production doit en profiter pour se simplifier. Les méthodes de conception doivent obligatoirement évoluer car les structures des produits sont remises en cause avec ces technologies.

Nous avons conscience des difficultés de telles transformations des systèmes de production induites par l'arrivée de ces nouvelles technologies. C'est pourquoi, nous nous interrogeons seulement sur les conséquences sur les ressources humaines industrielles, les technologies pour la production et les outils d'aide aux professionnels de la production. Ce sont des points de vue traditionnels revisités avec les nouvelles perspectives, en insistant sur le parti-pris des usages, trop souvent oubliés comme drivers des développements technologiques.

Les technologies de production intelligentes sont sources de valeur ajoutée importante et permettent une différenciation des produits et des organisations productives. Il s'agit de maitriser la technologie elle-même mais également d'avoir les méthodes de conception, de mise en œuvre et de recyclage les plus performantes. L'intelligence est véhiculée par les produits eux-mêmes et par l'interaction avec l'utilisateur. Les attentes scientifiques sont principalement dans l'amélioration des modèles avancés multiphysiques, multiéchelles, multi-technologies, multi-situations nécessaires pour les systèmes intelligents et dans le développement de systèmes de gestion avancée de la connaissance et de réalité augmentée qui intègrent ces modèles et les technologies et pratiques d'interaction les plus performantes.

Au niveau du système de production dans son ensemble, l'enjeu est de passer d'un système communicant à un système intelligent et durable capable de s'adapter à toutes les situations, les besoins devenant de plus en plus spécifiques et les ressources de plus en plus rares et chères. La difficulté provient de la pluri-disciplinarité du système, donc des modèles couplés nécessaires : les modèles de pilotage, de comportement du système mais aussi du produit et des marchés, de consommation de ressources physiques et humaines se doivent d'être cohérents et articulables dans un modèle global permettant une simulation anticipatrice et un pilotage opérationnel.

Il est clair que ces nouvelles technologies et ces nouveaux systèmes demandent des ressources humaines renouvelées. L'organisation du travail n'a pas été rediscutée lors de l'introduction de l'informatique et de la logistique et nous sommes arrivés à des situations inadaptées : le post-Taylorisme reste à inventer pour le nouveau monde. Les éléments constitutifs sont critiqués et appellent des solutions novatrices : les formes d'apprentissage et de transmission des connaissances, les répartitions des tâches, les compétences spécialisées, les métiers industriels dans une société de service sont à développer.

6- Enjeux de recherche

La recherche scientifique est bien évidemment un élément clé de réponse à ces mutations industrielles. Quels sont les grands enjeux de recherche à soutenir à court et moyen terme ?

Les experts de Futurprod ont identifié 10 enjeux de recherche :

- Développer de nouvelles technologies intelligentes
- Développer les outils pour concevoir et organiser les systèmes de production
- Développer de nouvelles compétences professionnelles
- Produire et distribuer dans les chaînes logistiques du plus près des marchés au monde entier
- Produire de façon éco-efficiente
- Produire en assurant sécurité et santé au travail
- Concevoir des fonctionnalités plus que des produits
- Inventer de nouveaux dispositifs de collaboration
- Améliorer la responsabilité des entreprises
- Supporter l'innovation participative

Ces 10 enjeux ont été déclinés en 42 thématiques de recherche.

6.1 Développer de nouvelles technologies intelligentes

Les principaux enjeux concernent à la fois les technologies (principes physiques, modélisation et simulation, applications) en tant que telles mais également leur conception, leur mise en œuvre, leur interaction avec les utilisateurs. L'intelligence va de plus en plus être véhiculée à la fois par les produits eux-mêmes mais aussi dans les situations d'interaction (depuis la conception jusqu'à la fin de vie) grâce à la connaissance que les systèmes d'information et d'interaction permettront d'utiliser pour aider à améliorer les performances de manière générale (économiques, technologiques, temporelles, sociales, etc…), en diminuant les risques et en renforçant la confiance dans la relation aux produits. L'intérêt d'avoir une industrie des nouvelles technologies d'avenir est évident, que ce soit les technologies clés génériques appelées KETs (Nanotechnologies, micro et nano-électroniques, photonique, matériaux avancés, biotechnologies industrielles, systèmes de production avancés) ou les disruptive technologies (mobile internet, automation of knowledge work, internet of things, cloud technology, advanced robotics, autonomous vehicle, next generation genomics, energy storage, 3D printing, advanced material, renewable energy). A nouveau l'intérêt de ces technologies est évident pour un pays comme la France, mais il est tout aussi évident qu'il

faut s'intéresser aux technologies et usages qui prendront appui sur ces technologies pour rénover l'industrialisation de tous les produits de tous les secteurs.

Concevoir et produire des produits intelligents s'appuyant sur les évolutions de l'informatique et des capteurs, demandent une nouvelle compréhension des produits et des modèles de production pour répondre aux enjeux sociétaux. Un méta-produit est fortement axé sur le client, intelligent et personnalisable, intégrant des unités sensorielles/informatiques, puisant de l'information distribuée dans le Cloud, conduisant à un changement du paradigme avec une tendance de production collaborative (à travers internet) de produits configurables et intelligents. Ceci entraîne un changement essentiel dans les besoins du cycle de vie des produits et ouvre des perspectives envers des modèles de production agile et orientée vers l'utilisateur, avec un impact considérable sur le coût-efficacité et l'écologie. Les fonctionnalités requises d'un nouveau méta-produit seront configurées par les utilisateurs finaux. Ceci touche aussi bien les vêtements personnels que les robots de production et d'assistance. La conception, la sélection des composants, l'approvisionnement des matériaux et des capteurs, le prototypage virtuel, ainsi que la planification de la production et de l'intégration des services deviennent des processus très collaboratifs nécessitant une expertise interdisciplinaire (concepteurs, producteurs de capteurs, développeurs de logiciels, utilisateurs, formateurs, médecins entre autres).

Les modèles associés (multiphysiques, multiéchelles) doivent aussi évoluer. Les phénomènes rencontrés dans l'industrie ou dans les services sont parmi les plus variés et complexes, l'objectif d'une approche globale intégrant les aspects technologiques, économiques, logistiques, humains, sociétaux, implique la mise en œuvre de modèles multiéchelles, multi-points de vue et multiphysiques qui offrent des challenges d'une difficulté remarquable et constituent un verrou scientifique fort. Ceux-ci portent à la fois sur la complétude et la pertinence des modèles, la prise en compte des incertitudes des modèles et des informations disponibles, des domaines de validité, sur la variété des représentations, sur les outils de traitement intégrés de ces multi-représentations. Il s'agit en particulier de modéliser une interaction «perception-cognition-action» comme un tout entre deux objets de nature différente et de supporter tous les niveaux d'interaction, de la modélisation et la simulation numérique à la réalisation physique et les tests. Ceci engendre une gestion des flux complexes de données comportementales, sensorielles et d'interaction. Tous ces développements doivent converger vers des usages et des technologies de réalité augmentée, intelligente et virtuelle les plus aptes à soutenir le travail d'ingénierie.

Dans l'environnement d'innovation permanente, la compétition entre entreprises est déterminée par leur capacité de formalisation, de préservation et de gestion des connaissances sous-jacentes à leurs pratiques d'intelligence économique. Ainsi, la maîtrise des connaissances est une nécessité pour (i) réaliser (processus de conception et de pilotage), (ii) décider (en conception/mise-au-point, en pilotage/exploitation…) et (iii) créer de nouvelles connaissances (indispensables à l'innovation), le problème clé étant d'avoir la bonne connaissance et sous la bonne forme au moment opportun pour réaliser, décider et

innover. L'enjeu est d'élever le niveau de maturité de ces systèmes à base de connaissances (KBS) afin de pouvoir réaliser, décider, innover de manière optimale. Les verrous scientifiques pour cette gestion optimale de la connaissance sont principalement de deux ordres. Les mécanismes de traçabilité qui peuvent supporter à la fois, les carrières changeantes des professionnels, les recompositions d'entreprises où les collaborations sont à définir, comme ceux permettant et la gestion des informations pour la fin de vie, la maintenance et la re-conception de produits. Il faudra imaginer les nouveaux mécanismes de partage qui autorisent les utilisations "locales" mais aussi les mises en commun par des entités distribuées sous contraintes de sécurité et de confidentialité partielle (interopérabilité pour les systèmes de connaissances). Ces contraintes sont utilisées tout au long du cycle de vie des produits et des systèmes de production. Des systèmes hommes-machines apprenants et auto-apprenants devront être conçus.

6.2 Développer les outils pour concevoir et organiser les systèmes de production

Les marchés actuels se caractérisent de plus en plus par leur variabilité, tant au niveau des quantités de produits à fabriquer ou vendre par période (du fait d'une concurrence accrue et d'une grande volatilité des clients) que des fonctionnalités des produits, amenés à s'adapter à des besoins toujours plus spécifiques, dans un contexte général de raccourcissement des délais de mise sur le marché.

Dans ce contexte, les systèmes de production du futur se doivent d'être rentables tout en étant flexibles et réactifs, tant au niveau des quantités que de la nature des produits, processus, procédés mis en œuvre. Il s'agit pour cela tout d'abord de définir des procédés de production et des équipements innovants permettant d'optimiser l'énergie et les ressources nécessaires à l'élaboration des produits dans un esprit d'intensification des procédés. Il s'agira ensuite de définir des systèmes de production reconfigurables, donc plus complexes à gérer. Dans les deux cas, une meilleure exploitation des connaissances générées par l'utilisation des systèmes de production semble nécessaire. Le défi est ainsi de passer d'un système de production *communicant*, basé sur l'information, à un système de production *intelligent*, basé sur la connaissance. Le raisonnement ou la prise de décision peuvent être centralisés, mais la nécessité de définir des systèmes de production agiles conduit à davantage considérer le système de production du futur comme une fédération de sous-systèmes intelligents que comme un système monolithique centralisé, en général très optimal mais peu agile. Une forme d'auto-organisation peut pour cela être rendue possible par les techniques d'intelligence ambiante, par le paradigme multi-agent ou par d'autres concepts liés à l'intelligence distribuée.

Le paradigme du « produit intelligent » apparait aujourd'hui comme particulièrement prometteur. Ce paradigme peut en effet non seulement être utilisé pour déporter une partie des décisions de gestion au niveau du produit lors de sa fabrication, facilitant ainsi le traitement de ses spécificités, mais il peut aussi permettre de se servir du produit comme trait d'union et vecteur d'information entre les différents acteurs de son cycle de vie : concepteurs,

fabricants, distributeurs, vendeurs, consommateurs et recycleurs, décloisonnant ainsi les étapes de son cycle de vie.

La production de produits de plus en plus spécifiques dans des systèmes de production de plus en plus flexibles, gérés non plus seulement sur la base de procédures mais de connaissances, rend beaucoup plus complexe la validation des performances du produit et de son système de production. Les techniques de simulation numérique (concept d'usine numérique) doivent permettre l'évaluation prédictive et intégrée des performances du produit et du système de fabrication, la validation du pilotage de la production et l'analyse des situations de travail, dans un contexte multi-vues, multi échelles et pluridisciplinaire.

La réponse aux nouveaux enjeux économiques, sociaux et environnementaux de la production demande la mise en œuvre de nouveaux procédés plus économes en énergie comme en matières premières, plus reconfigurables et plus flexibles. S'adapter toujours plus rapidement aux évolutions du marché demandera enfin la définition de méthodes permettant de mieux identifier les nouveaux besoins des consommateurs et les modalités d'introduction de nouveaux produits et/ou services sur les marchés. Les outils développés devront prendre en compte non seulement les données techniques et ergonomiques relatives aux usages potentiels des produits innovants mais également les données relatives à leur insertion dans les pratiques économiques des consommateurs/clients finaux, qui peuvent connaître des évolutions radicales.

6.3 Développer de nouvelles compétences professionnelles

Dans un système de production fondé sur des technologies avancées, les ressources humaines doivent se renouveler en permanence pour que les compétences puissent s'adapter rapidement aux évolutions techniques. Jusqu'à présent la formation en France a plutôt préparé à l'acquisition de connaissances qu'au développement des compétences et à leur adaptabilité. De plus le développement des compétences de l'opérateur dépend des conditions offertes par son milieu de travail (apprentissage, travail collectif, retour d'expérience, etc.) et les organisations actuelles n'offrent pas toujours ces conditions. Dans les années à venir, il apparait donc nécessaire de mieux identifier les ressources à mobiliser dans l'organisation du travail et la formation pour développer les compétences.

Il faut éviter l'hyperspécialisation des compétences qui empêche le renouvellement des capacités. En effet, les compétences des professions « technologiquement intensives » sont à la fois spécialisées et en renouvellement rapide. Les technologies clés à forte valeur ajoutée nécessitent de reconsidérer le processus de construction des compétences. La capacité à réapprendre doit être mieux identifiées dans la formation tout au long de la vie et dans les contextes de travail créant des environnements capacitants (qui renforcent la capacité à réapprendre). Les ressources du développement des compétences sont à rechercher dans la création de nouveaux groupes professionnels et de nouvelles formes d'organisation du travail, en lien avec les technologies de la fabrication avancée.

Ces nouveaux emplois « technologiquement intensifs » vont se développer dans une société à forte composante tertiaire, qui assure des activités de conception et d'innovation, de formation et d'éducation, de loisirs et de solidarités intergénérationnelles. Ces activités de service sont clairement des ressources pour l'innovation. Le développement de nouvelles fonctions sociales va créer une demande pour de nouveaux biens et activités industrielles. En d'autres termes, différents types de relations de service vont contribuer au développement des emplois industriels. Il est nécessaire d'anticiper dès aujourd'hui ces nouveaux métiers, de façon à adapter les nouvelles technologies aux besoins des professionnels et de leurs clients.

Dans un système de fabrication avancée, la poly-compétence sur les postes de travail n'est pas suffisante pour organiser le travail. Cela nécessite de penser de nouvelles formes de répartition des tâches. Les innovations techniques ne doivent pas faire négliger les innovations organisationnelles. Il est important d'anticiper les transformations organisationnelles imposées par la production flexible et la mondialisation des chaînes logistiques. Les systèmes d'information partagés vont impacter la manière de construire du travail collectif ou en réseau. Des infrastructures seront nécessaires pour soutenir le partage de données et la construction de langage commun. Ces nouvelles formes de répartition des tâches favoriseront l'apprentissage et l'innovation.

Les nouvelles formes d'apprentissage et l'insertion professionnelle ne dépendent pas seulement du niveau et de la spécialité du diplôme obtenu. Les formes d'apprentissage vont se diversifier dans les itinéraires. La capacité à se renouveler dans les apprentissages ne nécessite pas seulement une veille active dans les entreprises confrontées aux mutations économiques et aux évolutions technologiques et organisationnelles. L'accès à la formation devra profiter à tout le monde, les outils numériques faciliteront la formation de personnes éloignées. Des pédagogies actives sont à développer pour permettre une acquisition de compétences plus adaptées aux mutations de l'entreprise. La validation des acquis de l'expérience constitue une voie d'accès aux qualifications, en valorisant les savoirs faire professionnels et extraprofessionnels. Les conditions organisationnelles favorisant la construction de l'expérience seront à développer ainsi que les formes d'apprentissage dans les collectifs de travail.

6.4 Produire et distribuer dans les chaînes logistiques du plus près des marchés au monde entier

La production au plus près des besoins du consommateur et de manière respectueuse de l'environnement, le circuit court, permettrait de mieux prendre en compte les besoins, de revitaliser des territoires, tout en allant dans le sens d'un développement durable. Mais souvent la rentabilité économique d'un système de production repose sur la possibilité de produire de gros volumes. C'est le cas des systèmes de production fortement demandeurs en énergie mais aussi des secteurs très automatisés où les investissements en machines nécessitent a priori des volumes importants. Les années à venir verront donc l'émergence de réseaux de production et d'approvisionnement multiéchelles devant répondre au mieux à ces objectifs potentiellement contradictoires.

Il apparaît donc essentiel de travailler sur la conception de ces organisations multiéchelles des entreprises et en réseaux les plus adaptés. Cette présence à de multiples échelles a de profondes répercussions organisationnelles sur les entreprises (organisation du contrôle, transformation des produits pour les adapter au marché, utilisation de techniques diverses, changement des compétences nécessaires dans les sièges,...). Une première approche serait de faire des études de cas approfondis pour comprendre les situations en croisant les regards entre des centres de décision les déclinaisons des stratégies dans plusieurs pays, à plusieurs échelles. La comparaison peut aussi se faire entre plusieurs filières ou secteurs productifs. Les résultats de cette approche seront certainement utiles pour le développement d'outils mathématiques d'aide à la décision permettant d'outiller les arbitrages entre les organisations alternatives.

Cette organisation multiéchelles conduira à des problématiques en production et distribution de diverses natures selon l'échelle considérée : du plus près des marchés au niveau mondial.

Produire au plus près des marchés permet de fournir des produits en adéquation aux besoins locaux, mais bien sûr ces besoins locaux sont par nature faibles en volume. Il faudra donc développer des moyens de production et une organisation associée permettant de produire efficacement de petites quantités. C'est un défi au niveau technologique, logistique et économique qui doit être traité d'une façon intégrée et cohérente. Savoir produire de petites quantités conduit notamment à de nouveaux paradigmes de la fabrication en micro séries de produits différenciés à la demande soit au sein de micro-usines soit directement chez le client (imprimantes 3D – production déconcentrée…). Une des manières d'aboutir à un développement plus durable est de réduire l'intensité logistique de nos approvisionnements en nous appuyant sur les filières courtes. Ces filières ont le potentiel à la fois de réduire l'empreinte logistique par leur proximité géographique mais également de dynamiser les territoires en tirant profit de leur diversité. Le développement de la logistique en circuits courts pose de nombreuses questions scientifiques à la pointe des modèles d'optimisation mais aussi de la théorie des jeux ou du comportement (conception de réseaux logistiques couplant des flux hétérogènes, collaboration entre acteurs, prise de décisions distribuées,…). Faute d'une consolidation adéquate l'ensemble des flux, le gain de la proximité peut être perdu face à des systèmes logistiques de masse.

Produire au plus près du marché amène à relocaliser les compétences dont les industriels pourraient avoir besoin. Mais une hyperspécialisation des compétences sur un territoire peut conduire à appauvrir le développement de compétences sur un autre territoire. Il sera nécessaire de faire des recherches sur la façon d'améliorer les programmes de formation en fonction de connaissances sur l'évolution des besoins sur les marchés locaux. Il sera aussi intéressant de travailler sur la question de en quoi la localisation des compétences favorise le travail en réseau et en partenariat de plusieurs entreprises qui pourraient disposer d'une mutualisation de compétences. Cela pourrait participer à la construction de forme d'organisation servicielle.

Bien évidemment une production à un niveau mondial perdurera et nécessitera de fortes recherches sur la conception et pilotage de la chaîne logistique à cette échelle**.** Il s'agit de migrer d'une logique de réseaux d'entreprises à une logique de réseaux de réseaux de services logistiques, assurant à plus grande échelle et aux différentes échelles l'interopérabilité des organisations logistiques par une standardisation des éléments physiques de manutention et de conditionnement (dimension, préhension,…), des protocoles de communication entre Systèmes d'Informations et objets communicants (technologies GPS, RFID, …) et les processus logistiques. En particulier la montée en puissance de l'Internet des objets et de ses standards émergents est une opportunité remarquable pour structurer à l'échelle mondiale l'information et les flux logistiques à partir des objets logistiques eux-mêmes favorisant ainsi une nouvelle efficacité dans des modèles d'affaires qui restent largement à définir.

Cette production au niveau mondial nécessite aussi de développer des collaborations d'entreprise dans un contexte multi-culturel efficace. Si chacun s'accorde à reconnaître que la qualité de la collaboration dépend et des cultures nationales et des cultures organisationnelles, il n'y a pas accord sur les poids respectifs de ces éléments et il apparaît crucial d'affiner la compréhension que nous en avons.

Produire et distribuer dans les chaînes logistiques du plus près des marchés au monde entier conduiront donc à des défis scientifiques considérables et très novateurs, au niveau des moyens technologiques et organisationnels d'une part, en sciences de l'ingénieur et sciences sociales d'autre part.

6.5 Produire de façon éco-efficiente

Les systèmes de production du futur, existants ou nouveaux, doivent être durables c'est-à-dire intégrer et maximiser les bénéfices des impacts économique, environnemental et sociétal. Aussi, produire de façon éco-efficiente permet de distribuer à un prix compétitif des produits (ou services) qui satisfont les besoins de la société et apportent un mieux vivre à l'Homme tout en réduisant les impacts écologiques (produits toxiques, déchets, CO_2, etc…) et l'usage des ressources (matières premières fossiles et renouvelables, énergie,…) tout au long des cycles de vie de ces produits qui seront recyclés ou réutilisés. L'éco-efficience impose donc à la fois une fonction de satisfaction et de service et une fonction de rendement écologique. Cette production sera également créatrice de nouveaux métiers ou filières.

L'enjeu scientifique est d'accroitre l'innovation sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en matière première et en énergie pour amener des procédés moins énergivores et moins consommateurs de matière ; des systèmes de réemploi des matières et de l'énergie ; des mécanismes d'incitation publique et finalement des méthodes d'éco-conception qui traitent les problèmes le plus en amont possible et qui les minimisent.

La réduction de l'intensité énergétique et de matière des systèmes et sites de production est un gain direct. Elle peut être menée par l'optimisation, la simulation et la régulation multiéchelles des flux énergétiques et de matières, ce qui inclut des stratégies de

récupération, de recyclage et de valorisation intra et inter secteurs ou sites générant ainsi une vraie écologie territoriale et multi-territoriale. L'intégration de nouvelles sources renouvelables (matière biosourcée, biogaz, énergies intermittentes, etc…) permettra de réduire l'empreinte carbone et/ou la dépendance aux ressources stratégiques. En particulier, une approche conjointe de la gestion de production et de la gestion de l'énergie et des matières est source d'optimisation.

La seconde stratégie est de réutiliser systématiquement les matières et l'énergie quand ils ne servent plus : Il faut pour cela concevoir des systèmes de recyclage performants. Il faut développer de nouvelles solutions technologiques de recyclage et de réutilisation mais également adapter les systèmes de production et les procédés à de nouvelles matières premières (renouvelables, CO_2, recyclées,…). La réutilisation et le réemploi des « rejets » ou « déchets » en matière première ou énergie ont de grands potentiels si les techniques évoluent. L'organisation de la chaîne logistique dite inverse doit être pensée dans ses dimensions spatiale et temporelle pour permettre une bonne granularité et un découplage des activités. La récupération reste un point sensible à résoudre. De nouvelles compétences et critères orientées « recyclages » sont donc à développer et inventer.

Pour répondre aux enjeux de l'économie circulaire, l'incitation publique semble nécessaire. Il s'agit d'inventer les modes d'action publique et de partenariat qui favorisent l'implémentation de solutions pertinentes et efficaces. Les mécanismes d'incitation, tout comme ceux de régulation, doivent être recherchés au vu des performances attendues et prouvées de réutilisation et de durabilité. Les développements territoriaux, économiques et de formation, sont parties prenantes du système à réguler et des partenariats d'un nouveau type à monter. De nombreuses disciplines concourent à atteindre ces objectifs : droit, économie, fiscalité et modes de gouvernance.

Enfin, ces stratégies ne seront efficaces que si les solutions ont été éco-conçues en amont, permettant ainsi des systèmes bien pensés dont l'optimisation est réelle. L'éco-conception a pour objectif de concevoir les systèmes les plus performants possibles d'un point de vue environnemental multicritères. L'approche est sur l'ensemble du cycle de vie et donc sur l'ensemble des cycles de vie quand on favorise la réutilisation des matières et de l'énergie. Les enjeux sont ainsi d'assoir et de simplifier les méthodes permettant la gestion de multiples cycles de vie, pour l'ensemble des sous-traitants, pour une utilisation « amont » en ingénierie et conception qui soit associée à des indicateurs calculables élargis pour prendre en compte les aspects sociaux, pour une modélisation adaptée de la phase d'utilisation.

6.6 Produire en assurant sécurité et santé au travail

Une régulation de la sécurité et de la santé au travail sera de plus en plus nécessaire dans les années à venir pour tenter de contrôler les risques engendrés par les systèmes de production et les innovations technologiques, afin de répondre à une demande sociétale. Jusqu'à présent, la société participait peu au débat public sur les innovations. L'affaire de l'amiante, les OGM, les grands accidents industriels et la prise de conscience de l'impact des

innovations sur l'environnement amènent à revoir la place de la société civile dans l'innovation, notamment en lien avec les questions de sécurité et de santé.

Le développement durable implique que l'innovation prenne en compte les risques techniques et leur impact sur l'environnement, la santé et la sécurité. La gestion des risques industriels, professionnels et environnementaux est à concilier sur deux facettes :

- une approche « sécurité » : la maîtrise des installations, des nouveaux procédés et des produits émergents est une condition d'un système industriel « sûr » dans une société respectueuse de la sécurité, de la santé et du bien-être de ses citoyens. La connaissance et la maîtrise des risques technologiques reposent sur des exigences de sécurité réglementées sur leur impact environnemental, la société jouant un rôle dans l'acceptabilité des nouveaux produits et dans la prise de risque. Identifier les dangers engendrés par une innovation technique contribue à la compétitivité des entreprises (innovation mieux acceptée par la société). Des connaissances sur les propriétés des matériaux émergents et leurs impacts sur la sécurité, la santé, l'environnement sont à produire. La maîtrise des risques liés à des nouveaux procédés interroge la sûreté de fonctionnement des installations pour éviter des crises majeures.

- une approche « santé » : l'évolution des modes de production issue de la mondialisation a conduit à la précarité/vulnérabilité de certaines populations exposées aux risques et à des risques émergents pour d'autres populations. Les conditions de travail, d'emploi et de formation ne devraient pas laisser pour compte une partie de la population fragilisée par l'exposition aux risques. D'un autre côté, les salariés en emploi voient leurs conditions de travail changer rapidement, demandant une grande adaptabilité, une pression temporelle accrue, pouvant engendrer des troubles de santé (troubles musculo-squelettiques, risques psychosociaux). Une société à deux vitesses, ne répondant pas aux aspirations de développement dans l'activité de travail nécessaire à tous les individus, pourrait engendrer des risques de perte d'innovation.

La prise en compte des risques professionnels et industriels répond donc à une réglementation mais aussi à une demande sociétale croissante. Si la réglementation sur les risques est de plus en plus prégnante face au coût des accidents et des maladies professionnelles, les entreprises devraient davantage s'inscrire dans une démarche d'amélioration continue de la sécurité dans les systèmes de production en prenant davantage en compte le facteur humain dans l'utilisation des NTIC et en interrogeant les modes organisationnels qui peuvent réduire les risques à la source.

La mondialisation renforce les risques d'exposition à la précarité. Les menaces de fragilité pour certaines populations constituent un frein à la créativité et l'innovation. La recherche d'alternatives évitant la création des inégalités doit être menée pour éviter la coupure entre une main d'œuvre qualifiée et sécurisée et une main d'œuvre précarisée et paupérisée. L'intérêt est d'atténuer l'impact social de la mondialisation privant la société de potentiels plus diversifiés et plus contributifs au système de production. Pour cela, il s'agit d'anticiper

sur les politiques éducatives et de l'emploi et de trouver les moyens de dépasser des approches segmentées par publics (jeunes, femmes, séniors, handicapés, etc.) pour aller sur les conditions d'épanouissement dans le travail. La qualité de la vie au travail doit faire l'objet de négociation entre les partenaires sociaux, et les pratiques de gestion des entreprises devraient davantage s'orienter vers le développement durable des ressources des populations au travail.

Une approche globale couvrant l'ensemble des risques professionnels jusqu'aux risques technologiques nécessite des collaborations entre les industriels et les chercheurs en sciences humaines et en sciences pour l'ingénieur.

6.7 Concevoir des fonctionnalités plus que des produits

Les systèmes industriels sont interrogés sur les décalages, ressentis ou réels, entre les performances annoncées et finalement obtenues par les produits installés. Ceci est autant vrai pour la performance instantanée que pour son évolution dans le temps, et aussi bien pour les performances techniques et économiques que pour les performances environnementales et sociales. Il s'agit alors de se préoccuper de la solution complète qui répond à la demande plus que du produit lui-même qui n'en est qu'un des éléments. Le principe de cette approche n'est pas nouveau pour le technique et l'économique : les grands systèmes complexes comme un avion ou une centrale d'énergie sont conçus pour durer avec les meilleurs rendements depuis longtemps ; le fonctionnement des lignes de production associent techniques et services de maintenance. Il s'agit maintenant de généraliser le concept à l'intégralité du cycle de vie et pour l'ensemble des performances. La rupture provient du potentiel d'innovation important comme le prouvent les systèmes de gestion intelligente de l'énergie dans les bâtiments ou la location urbaine de vélos. La vision « circulaire systémique » trouve naturellement à s'appliquer dans les approches de fonctionnalité.

Que peut-on en attendre ? Trois choses principalement. Une satisfaction accrue du demandeur par une performance globale adaptée et maintenue ; un usage plus intelligent de la technologie en exploitant à son juste niveau la performance des produits ; enfin un découplage entre la valeur créée et la consommation de matière en s'appuyant sur les modèles économiques les plus adaptés.

Que doit faire la science ? Les premières études montrent que les approches dites « de fonctionnalité » ne conduisent aux performances attendues que dans certaines conditions et donc pas systématiquement. Il s'agit donc d'outiller les décideurs et les ingénieurs pour concevoir et produire des solutions réellement efficaces. Nous avons mis en avant trois concepts forts et structurants pour atteindre cet objectif : fonctionnalité, système et modularité. Ils ont l'avantage d'exister et d'avoir déjà été étudiés et d'avoir un potentiel énorme pour une stratégie du durable ; il s'agit donc de les enrichir dans le nouveau paradigme et de développer les modèles et les outils pour les ingénieurs et les décideurs.

Développer les méthodes conduisant à l'économie de fonctionnalité. Le concept donne beaucoup d'espoir ; les preuves d'atteinte de ces espoirs sont moins nombreuses. L'implémentation est compliquée par le nombre d'acteurs et de logiques mises en œuvre ainsi que par le manque de modèles sur lesquels s'appuyer pour étudier produits et services ensemble. Les méthodes fonctionnelles doivent repenser le concept de valeur générée par des fonctionnalités, des contextes d'usage et une co-production d'acteurs.

Populariser et approfondir l'ingénierie des systèmes. Un changement indispensable est le passage obligatoire à un niveau système : la science et l'ingénierie des systèmes doivent donc être approfondies pour intégrer le nouveau paradigme de développement durable. Plus largement, les études des interactions et les modèles des interdépendances sont les points clés pour appréhender les systèmes hétérogènes et arriver à développer l'ingénierie de systèmes de systèmes.

Revisiter le concept de modularité. Ce concept dominant de la conception de produit et de production de masse diversifiée reste un pilier pour supporter les approches de fonctionnalité grâce à son principe de substitution de composants assurant une fonction et à son potentiel élevé d'adaptabilité et de réutilisation. C'est par nature un concept pluridisciplinaire entre le marketing (la demande et son évolution), la technologie (la conception des interfaces) et l'organisation (la chaîne logistique) qui doit être instrumenté pour résoudre des temporalités différentes et des logiques de décision contradictoires.

6.8 Inventer de nouveaux dispositifs de collaboration

Un système de production qui prend en compte les évolutions sociétales doit également considérer les instruments qui circulent entre les acteurs visant à favoriser leur collaboration pour la production et l'innovation. Les organisations ont préféré demander à leurs salariés de s'adapter aux nouvelles technologies plutôt que de faire de ces NTIC une ressource collective de l'activité.

Pour développer des dispositifs de collaboration, les acteurs industriels devront mieux prendre en compte les modifications de la relation de travail, les nouvelles possibilités d'organisation du travail à distance et la nécessité de professionnalisation de certains métiers. Il sera également nécessaire de concevoir d'une autre façon la mobilité, notamment celle des modes de production.

Le développement des NTIC a conduit à de profondes mutations des formes de coordination de l'activité au sein et entre les entreprises du fait du travail à distance, qu'il rend possible. Le travail à distance appuyé sur les TIC rompt avec le modèle des schémas établis d'unité de temps et de lieu de l'activité productive. Il participe à une redéfinition de la relation de travail et d'emploi entre le salarié et la hiérarchie et peut parfois affaiblir les échanges au sein des collectifs de travail.

Aujourd'hui, un ensemble de freins entrave le développement des formes innovantes de travail à distance. Tout d'abord, il remet en cause les moyens de contrôle du travail du salarié, bien que des outils informatisés fins de suivi de l'activité existent déjà. La responsabilité dans

l'activité revêt ainsi une autre figure pour l'encadrement et le salarié. D'autre part, des questions se posent sur les conditions réelles à mobiliser pour favoriser une professionnalisation des emplois de relation de service à distance.

Le travail à distance peut prendre plusieurs formes : travail à domicile, travail nomade, travail en télécentre, travail en centre d'appel. Les formes les plus appropriées au développement de chaînes logistiques mondialisées sont à interroger pour que les nouvelles possibilités d'organisation du travail à distance ouvertes par les TIC soit des ressources pour le développement de compétences individuelles, de collaborations avec les collègues et un travail en partenariat dans de multiples réseaux.

Autre élément, la mobilité au sens large (produit, homme-compétences, production, organisation) est à concevoir dans un ancrage plus fort avec le territoire d'origine qui organisera par ailleurs l'inscription dans la mondialisation.

Jusqu'à maintenant la mobilité a été appréhendée de manière disciplinaire alors qu'elle a des composantes multiples. La mobilité devra favoriser la communication dans les équipes sur des sites différents et dans les chaînes de partenaires. Des questions se posent sur la sécurisation des données et les modes organisationnels choisis pour faciliter tant la mobilité des données (via des supports numérisés de données propres à l'entreprise permettant la coopération à distance, via des configurations numériques d'ateliers 'virtuels' étendus) que des personnes. L'étude de la mobilité vise donc aussi à mieux comprendre les déplacements des modes d'organisation de la conception, de la production, du travail et du contrôle, afin d'élaborer des guides de bonnes pratiques, notamment dans les PMI.

La mobilité d'entités productives, élargissant les modes de production et les échanges de techniques de production auront un impact sur les relations de travail en interne et en externe. Leur examen pour développer les dispositifs de collaboration doit davantage s'effectuer de façon pluridisciplinaire entre les sciences humaines et sociales et les sciences pour l'ingénieur.

6.9 Améliorer la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE)

Avec le développement de l'activité des entreprises, notamment industrielles, leurs impacts sur la société et notre monde sont devenus de plus en plus prégnants. Ces impacts touchent bien évidemment le domaine d'activité propre à ces entreprises, la production de biens et de services, mais ils génèrent également de nombreux effets induits (externalités) qui se manifestent dans de multiples domaines comme le fonctionnement de l'économie, la santé, l'environnement, la solidarité etc. La prise de conscience de la société et des entreprises à cet égard est relativement récente et vient se heurter aux systèmes de gouvernance classique des entreprises.

Le développement de la responsabilité sociale des entreprises ne relève ni du vœu pieu ni d'une obligation mais davantage de la mutation d'un système technico économique sous tendu par des valeurs et des droits.

Au niveau de l'ingénierie il ne s'agit pas simplement de l'introduction de nouveaux critères dans le cadre classique de la conception et de la production de biens et des services : d'une part, les expériences récentes montrent qu'il n'y a pas de solution satisfaisante dans le cadre actuel et, d'autre part, l'entreprise elle-même n'est pas le lieu naturel de l'expression de ces besoins. Du point de vue de la conception, on comprend donc qu'il s'agit de réinventer les raisonnements de conception pour y introduire une part d'innovation plus radicale. Il est donc nécessaire que la recherche s'intéresse à la production de ces nouveaux modes de conception en s'attaquant aux contradictions et aux limites actuelles. En outre, les utilisateurs, les usagers ou les citoyens, au fait des besoins peuvent devenir des acteurs de la conception notamment en s'organisant en réseaux. Ces nouvelles formes d'implications sont à encore largement à identifier et à comprendre.

Au niveau de la société, si l'on souhaite que la responsabilité sociale de l'entreprise émerge et soit cohérente avec un nouveau système de valeur, il convient de l'élaborer en faisant appel à une forme de collectif et de représentativité. Les modes de représentation, de construction et de diffusion de ces valeurs restent largement à découvrir, notamment à partir de l'analyse des nombreux mouvements et initiatives locales en cours.

Enfin, et pour que ceci devienne effectif, il est nécessaire que ce système de valeurs soit également porté par un corpus de règles de droit. En effet, c'est la loi qui définit le cadre légal des entreprises et donc non seulement définit les droits et les devoirs des parties prenantes mais en premier lieu identifie les intervenants et structure leurs relations. On peut donc difficilement imaginer une entreprise avec une véritable responsabilité sociale sans que celle-ci ne soit ancrée dans le droit qui la fonde. C'est donc également à une analyse critique du droit des sociétés avec une approche de conception innovante que devrait être recherchés de nouveaux modes d'organisation des entreprises.

6.10 Développer l'innovation participative

Les relations de l'Homme dans l'éco-système vont devoir évoluer pour s'adapter aux nouveaux produits et environnements tant d'usage que de mise en œuvre de processus de création de valeur. Ceci passe par une meilleure prise en compte des souhaits, des ressentis et de la sensibilité de l'Homme producteur ou consommateur. Les entreprises doivent mieux intégrer l'Homme dans leur dynamique d'innovation participative tout en protégeant leur capital immatériel. Dans le cadre de cet ARP, quatre enjeux se sont dégagés.

L'avènement de l'économie de la connaissance marque une reconfiguration continue du modèle économique des entreprises, où l'avantage concurrentiel est désormais lié à la capacité d'innovation. Il s'agit d'appréhender cette dynamique des échanges et des interfaces. En dépit de l'avance technologique de certaines entreprises, un nombre croissant d'inventions se fait en dehors de celles-ci, dans le monde entier. Une présence active dans l'écosystème de proximité et dans des clusters innovants devient un enjeu majeur pour capter de nouvelles opportunités et participer à une innovation ouverte et collaborative, tout en s'adaptant en matière de propriété intellectuelle, d'organisation, de gestion du

changement et de préservation de la connaissance. Une collaboration ouverte avec les communautés d'utilisateurs constitue une source d'idées permettant de soutenir l'innovation et de préserver des connaissances sous-jacentes aux pratiques d'intelligence économique. Dans cette approche de collaboration ouverte et dynamique, il est important de disposer d'interfaces d'échange flexibles traitant l'organisation industrielle, les systèmes de production et les systèmes d'information.

La conception et la production de produit sont aujourd'hui réalisées dans un environnement international dans lequel toutes les organisations industrielles coexistent et sont en mutation permanente dans un travail collaboratif et en réseaux. Le travail collaboratif et en réseaux est alors incontournable afin de supporter les activités d'ingénierie dans des modes synchrone, asynchrone, de manière présentielle ou à distance. Les organisations en réseaux sont des partenariats aussi bien entre plusieurs entreprises de différentes tailles visant la production d'un bien ou d'un service qu'entre entreprises, recherche et enseignement visant l'amélioration de la conception et de la production. Le travail collaboratif permet à plusieurs métiers ou fonctions, en proximité ou à distance de se réunir lors de projets à court ou long terme supportés par NTIC. De nouvelles formes d'équilibre dans les collaborations, qui favorisent l'innovation technologique et profitent des réseaux de compétences collectifs sont attendues.

Concevoir les produits de demain impose d'intégrer l'utilisateur comme spécificateur et analyste dans un esprit du juste nécessaire et du juste adapté, plutôt que de le convaincre d'investir dans des produits auxquels il devra s'adapter et adapter son style de vie et de comportement. Au-delà des règles usuelles du marketing et de l'ingénierie de conception, il est indispensable de créer les conditions d'une réelle co-conception des concepts et de leurs finalisations. La place de l'utilisateur dans les processus de conception est un enjeu essentiel. Il s'agit de développer des technologies et des usages pour la communication et l'interaction entre utilisateurs, et entre utilisateurs et fournisseurs, des éco-systèmes de concrétisation maîtrisée des produits afin de rendre accessible aux utilisateurs des moyens d'adaptation. Ceci se traduira à terme par une réelle innovation participative intégrant l'utilisateur pour des concepts de produits évolutifs et intelligents.

Développer l'innovation dans les entreprises est un axe stratégique identifié par les politiques publiques. Ainsi, la création de marchés via l'introduction de nouveaux produits et services, l'amélioration de l'efficacité productive des entreprises – petites ou grandes, l'intégration de nouvelles contraintes/opportunités sociétales et environnementales, sont les caractéristiques majeures des stratégies des entreprises industrielles qu'il convient de soutenir par le développement d'outils de management et de politique efficaces. Il s'agit de chercher les nouveaux modes de recherche appliquée, de "recherche innovation", de recherche avec les PME pour favoriser la diffusion, l'acquisition et l'utilisation des avancées technologiques par la grande majorité des PME/PMI. Compte tenu de l'importance que représentent les PME/PMI dans l'économie française, en termes d'emploi, d'ancrages territoriaux, de production de valeur, mais également des spécificités des activités innovantes de ces

entreprises, il s'agit d'accroître les capacités de notre « économie de la connaissance » à transmettre les avancées technologiques les plus récentes.

7- Conclusion

Que retenir finalement ?

D'abord l'ambition et l'urgence. Ré-industrialiser la France est un défi de premier ordre. La science doit y participer et elle est en état de marche avec des laboratoires et des industries prêts. Il y a déjà des pôles d'excellence sur lesquels s'appuyer ; il est certainement nécessaire d'en créer d'autres pour des enjeux stratégiques mais aussi de se concentrer sur les problèmes qui à la fois améliorent la condition de la société dans son ensemble et celle de l'entreprise en particulier. La France doit prendre le problème dans son ensemble par une démarche système incluant au minimum les matières premières, les procédés de production, l'organisation de la production, la logistique, les ressources humaines (et leur formation) et l'évolution des attentes des consommateurs. Les pays industriels forts aujourd'hui ne pourront que suivre le même déclin industriel à terme s'ils ne rentrent pas dans une démarche analogue.

D'un point de vue scientifique, on ne parle pas d'optimisation de solutions existantes mais bien de réelles transformations amenant des solutions nouvelles pour les technologies, les interactions et les organisations ; il faut une approche système. Il ne faut pas cacher la complexité du problème derrière des solutions magiques. Il faut bien évidemment travailler sur les nouvelles technologies sans oublier les technologies plus traditionnelles. Ceci dit la problématique de l'industrialisation de la France ne se résout pas simplement par de l'innovation technologique, aussi nécessaire soit elle. Il s'agit de penser le système complet, seul niveau où le sens existe et qui n'est pas simplement la juxtaposition des sous-problèmes. Le système de production forme un réseau complexe où interagissent de nombreuses entreprises qui associent les technologies, les aspects sociaux et de consommation, la logistique, l'organisation du travail et la gestion des connaissances.

Du point de vue des disciplines, les sciences de l'ingénieur dans leur ensemble se sentent concernées dès qu'il y a de la matière et de l'énergie ; les sciences humaines et sociales se doivent de réinvestir plus fortement le champ industriel car elles ont la clé de certains verrous. Enfin les STIC et particulièrement l'informatique doivent prendre conscience de l'aspect diffusant de leur discipline dans le monde de la production où notamment systèmes d'information, approches en réseaux et modèles complexes sont essentiels. Ceci questionne les rapports entre les disciplines scientifiques et la façon de résoudre les problèmes par nature pluridisciplinaires. Ce n'est pas une habitude de la science de transcender ses cloisons mais l'étude des systèmes de production ne supportent pas une simple juxtaposition des disciplines.

La question est aussi posée sur les méthodes de travail en commun de la recherche et de l'industrie. Il s'agira d'inventer les infrastructures qui permettront ce travail, bien au-delà des modes de fonctionnement des projets collaboratifs actuels.

Enfin et surtout, il y a urgence à combiner un programme de politique industrielle et un programme ambitieux de recherche sur les systèmes de production. Les enjeux pour la société sont suffisamment importants pour attendre des réponses rapides. Notre étude a montré que nous avons en France de nombreux pôles d'expertise, industriels, universitaires, mixtes parfois, qui peuvent permettre d'être opérationnels très rapidement.

Annexes

1. Les experts

- Michel ALDANONDO, professeur, Ecole des Mines d'Albi, Centre de Génie Industriel, GDR MACS STP
- Marc AUROUSSEAU, professeur, Grenoble INP, Laboratoire Génie des Procédés et Papetier (LGP2), Président du comité de développement du génie des procédés en Rhône-Alpes (CODEGEPRA) et membre du CA de la Société Française de Génie des Procédés (SFGP)
- Eric BALLOT, professeur, Ecole des Mines de Paris, Centre de Gestion Scientifique (CGS)
- Alain BERNARD, professeur, Directeur de la recherche de l'Ecole Centrale de Nantes, Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes (IRCCyN) UMR 6597, AIP-PRIMECA
- Jean-Claude BOCQUET, professeur, Ecole Centrale de Paris, directeur du Laboratoire Génie Industriel, AIP-PRIMECA
- Bernard BOIME, Ingénieur, EADS, Outils de conception et développement système, pôle de compétitivité SYSTEMATIC
- Abdelaziz BOURAS, professeur, Université Louis Lumière Lyon, Laboratoire Décision et Information pour les Systèmes de Production (DISP), AIP-PRIMECA
- Jean-Paul BOURRIERES, professeur, Université de Bordeaux 1, Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système (IMS), Président du laboratoire européen InterOp_Vlab, GDR MACS STP
- Daniel BRISSAUD, professeur, Grenoble INP, Laboratoire G-SCOP, UMR CNRS 5272, responsable scientifique de l'ARC8 « Industrialisation et Sciences de gouvernement »
- Sandrine CAROLY, Maitre de conférences, Université Joseph Fourier Grenoble, Laboratoire Politique-action publique – territoire (PACTE) UMR 5194, ergonomie de l'activité et sociologie des organisations
- Alexandre DOLGUI, professeur, Ecole des Mines de St Etienne, Directeur du laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information (LSTI), GDR MACS STP
- Jean-Luc DUPLAN, IFPEN Direction de l'établissement de Lyon, Comité stratégique de l'institut pour le Développement des Ecotechnologies et des Energies Décarbonnées de Lyon (IDEEL)
- Michèle DUPRE, Université Louis Lumière Lyon, Centre Max Weber, sociologie du travail
- Léon-Christophe ETILE, Institut INSPIRE - Initiative pour la promotion d'une industrie réconciliée avec l'écologie et la société
- Nathalie FABBE-COSTES, Professeur, Université de la Méditerranée, Directrice du Centre de recherche sur le transport et la logistique (CRET-LOG)
- Yannick FREIN, professeur, Grenoble INP, directeur du laboratoire G-SCOP UMR CNRS 5272, directeur-adjoint du GDR Macs
- Vincent GIARD, professeur, Université Paris Dauphine, Laboratoire d'analyse et de modélisation de systèmes pour l'aide à la décision (LAMSADE)

- Dominique GHIGLIONE, Responsable R&D, CETIM, Membre de la FIM et de MECAFUTURE-FR
- Bernard GRABOT, professeur, ENI Tarbes, Laboratoire de Génie de Production (LGP), Responsable de la prospective Sciences et techniques de la production, GDR MACS STP
- Nathalie GREENAN, Directrice de l'unité de recherche « Dynamique des organisations du travail », CEE – Centre d'études de l'emploi
- Marie-Odile HOMETTE, Déléguée générale du pôle de compétitivité VIAMECA
- Stéphane HUBAC, Manufacturing Science Senior Expert, Advanced process & Equipment Control – Front End Manufacturing & process R&D _ STMicroelectronics
- Bruno LAMOTTE, professeur, Université Pierre-Mendès-France Grenoble, Centre de recherche en économie de Grenoble (CREG), économie du travail
- Daniel LLERENA, Maitre de conférences HDR, Université Pierre Mendès-France Grenoble, Laboratoire d'économie appliquée de Grenoble (GAEL) UMR INRA, Directeur de la SFR INNOVACS (Fédération CNRS)
- Olivier LIAROUTZOS, Responsable du département Changements Technologiques et Organisationnels, ANACT - Agence Nationale pour l'Amélioration des Conditions de Travail
- Sébastien LIMOUSIN, Directeur de la Valorisation, INERIS – Institut national de l'environnement et des risques industriels
- Jacques MARSOT, INRS - Institut National de Recherche et de Sécurité ; Responsable du laboratoire « Ingénierie de Conception de Systèmes sûrs »
- Patrick MARTIN, professeur, Arts et Métiers Paristech, Laboratoire de conception-fabrication-commande (LCFC), Directeur du réseau, AIP-PRIMECA
- Gérard MOREL, professeur, Université Henri Poincaré Nancy, Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN), UMR 7039, Vice-Président de l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS), GDR MACS STP
- Nicolas PETIT, Correspondant Recherche et Investissements d'Avenir, Service Entreprises et Eco-Technologies, Direction Production et Energies Durables, ADEME
- Henri PIERREVAL, professeur, IFMA Clermont-Ferrand, Laboratoire Informatique, Modélisation et Optimisation des Systèmes (LIMOS), UMR CNRS 6158, Responsable de l'axe scientifique « Méthodologie pour les systèmes de production », GDR MACS STP
- Kamel RAMDANI, responsable du département « Expertise Procédés et Technologies », Rhodia Opération, Co-pilote de l'éco-système "procédés éco-conçus" du pôle de compétitivité AXELERA et membre du CA de CODEGEPRA
- Michel SARDIN, professeur à l'INPL, Directeur de l'institut Carnot "Energie et Environnement en Lorraine", Membre du CA et président du Comité Scientifique et Technique de la Société Française de Génie des Procédés (SFGP)
- Lionel ROUCOULES, professeur, Arts et Métiers Paristech, laboratoire des Sciences et de l'Information et des Systèmes (LSIS)
- Nicolas ROCHE, professeur, UPCAM, Directeur-adjoint du LM2P2 et membre du CA de la Société Française de Génie des Procédés
- Franck TANNERY, Directeur de l'équipe de recherche en gestion COACTIS (EA 4161), management stratégique et organisation des PME.

2. Le laboratoire G-SCOP

G-SCOP est un laboratoire pluridisciplinaire pour répondre aux défis scientifiques posés par les mutations du monde industriel en cours et à venir. Le périmètre du laboratoire va de la conception des produits à la gestion des systèmes de production en s'appuyant sur de fortes compétences en optimisation. La création du laboratoire G-SCOP a été le résultat d'une très longue histoire d'avancées scientifiques et de collaborations dans le domaine des systèmes de production, de la conception des produits et de la recherche opérationnelle.

Le monde industriel est en pleine mutation (mouvements de délocalisation-relocalisation, développement des services, couple « produits-services », ...). Nous nous devons d'insister sur l'importance de plus en plus forte de la notion de développement durable. Cette situation, rend indispensable de se pencher sur les conditions d'une croissance durable et de poser la question des lieux et leviers de la performance économique des entreprises. Cette performance se joue sur la capacité des entreprises à innover en matière de produits et de services mais aussi sur leur capacité à inventer de nouvelles organisations industrielles (réactives et flexibles malgré leur complexité). Ces questions nous ont conduit à identifier des défis scientifiques concernant la prise en compte des incertitudes, la collaboration d'acteurs distribués, l'ingénierie des connaissances et enfin le développement de travaux amont en optimisation. Une très grande partie des travaux du laboratoire participent aux défis du développement d'une industrie soutenable environnementalement.

Ces défis nous ont amenés à proposer une nouvelle étape dans la recherche sur la conception et la gestion des produits et des systèmes de production. Cette nouvelle étape conduit à des approfondissements au cœur des disciplines ; mais l'émergence de nouveaux sujets à l'interface de disciplines nécessite également des collaborations encore renforcées entre ces disciplines.

Le laboratoire G-SCOP est une UMR CNRS - Grenoble INP - Université J Fourier. G-SCOP comprend environ 170 personnes dont 60 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents. Le laboratoire est rattaché aux Instituts INS2I (en principal) et à l'INSIS. Il contribue aux instituts Carnot LSI (Logiciels et Systèmes intelligents) et au Carnot Energie du Futur.

3. AIP-PRIMECA

Le réseau national AIP-Primeca, soutenu pas le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, est le résultat de la fusion en 2001 entre :

- les A.I.P. (Ateliers Inter-établissements de Productique), centres de ressources régionaux utilisés comme support expérimental de formations approfondies dans le domaine de la Productique créées en 1984,
- PRIMECA (Pôles de Ressources Informatiques pour la MECAnique), créé en 1991 à l'instigation du Comité d'Application de l'Académie des Sciences pour promouvoir l'utilisation des outils informatiques dans la conception des produits mécaniques.

Le réseau regroupe 9 pôles régionaux, organisés autour de centres de ressources et de plates formes pédagogiques mutualisées entre des établissements d'enseignement supérieur, mettant en œuvre des matériels et des logiciels de dimension industrielle dans les domaines de la Conception Intégrée en Mécanique et de la Productique :

- machines à commande numérique, robots, système flexible de production,
- conception fabrication intégrées en mécanique, CFAO,
- gestion industrielle, systèmes d'information, GPAO, PLM, ERP,
- maintenance, GMAO, management de la qualité.

Ainsi dans chaque pôle, ces ressources permettent de former des spécialistes :

- ayant une approche globale du système de conception intégrée et de production,
- maîtrisant les méthodes et techniques de modélisation, d'analyse, de production, d'informatisation, d'automatisation et de génie industriel,
- capables de s'intégrer dans des activités pluridisciplinaires,
- conscients de la nécessaire cohérence des différentes fonctions de l'entreprise,
- ouvert à l'international et à la recherche.

L'ensemble des 9 pôles regroupe ainsi plus de 400 enseignants-chercheurs relevant de plus de 80 écoles d'ingénieurs et formations universitaires, et assure ainsi plus de 1 200 000 heures/élèves de prestations annuellement en formation initiale et en formation continue pour près de 17 000 étudiants par an.

Le réseau AIP-PRIMECA réalise des actions d'animation scientifique et technique, en particulier :

- la mutualisation des compétences, la mutualisation d'acquisition de logiciels, les échanges d'expériences,
- le soutien aux innovations pédagogiques et la réalisation de formations spécifiques dans des domaines de haute technologie,
- le transfert de la recherche vers la formation et les entreprises,
- la participation active à l'Association Française de Mécanique (commission)
- l'organisation de manifestations scientifiques nationales (4 à 5 évènements majeurs par an) accessibles à un large public (enseignants, doctorants, industriels…) tel que journées thématiques, universités d'automne, colloques nationaux,
- l'organisation d'une conférence scientifique internationale tous les deux ans en France et dans un pays étranger partenaire : Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME),
- le développement de relations internationales : partenariat avec l'Université Tsinghua à Pékin, Université d'été avec la Chine, la mise en place d'un master recherche avec le Mexique,

- le soutien à une revue internationale : International Journal for Interactive Methods in Design ans Manufacturing (IJIDeM).
- le soutien scientifique pour l'organisation de congrès et conférences..,

Les membres du réseau AIP-Primeca sont donc au cœur des problématiques de l'ARP systèmes de production du futur, notamment dans ces dimensions produit et production.

4. GDR MACS

Les sciences et techniques de la production (STP) représentent une des grandes orientations scientifiques du GDR CNRS MACS, qui mobilise plus de 1000 membres issus de 105 laboratoires français et francophones dont l'activité s'inscrit dans le champ disciplinaire couvert par l'ARP. Ces chercheurs, principalement issus des sections 61, 27 et 60 du CNU, rassemblés dans des groupes de travail (GTs), abordent des problématiques relatives aux systèmes de production de biens et de services. Ces problématiques se déclinent différemment dans les axes du GDR MACS, qui en explorent différentes facettes : « méthodologie pour les systèmes de production », « modélisation, évaluation, optimisation », « domaines applicatifs-objets d'études », « sûreté, supervision et maintenance » et « systèmes de commande ».

Ainsi, parmi les préoccupations des GTs directement concernés par ce projet d'ARP, sont abordés : les connaissances et compétences impliquées dans les systèmes de production, l'ordonnancement et la planification, les méthodes de conception et de gestion des chaînes logistiques, l'ingénierie d'entreprise et de systèmes d'information dirigée par les modèles, la production intelligente, l'ingénierie des systèmes de conception et de conduite du cycle de vie du produit, la maintenance, etc.

L'activité scientifique des GTs se situe donc directement au cœur des thèmes cités dans le présent appel ANR. Ils représentent des forces vives incontournables pour aborder les futurs thèmes de recherches suggérés par l'ARP et constituent des creusets naturels pour former les partenariats nécessaires destinés à répondre aux futurs appels d'offre qui pourraient découler de cette réflexion prospective (les GTs ont également des actions interdisciplinaires).

5. Société Française de Génie des Procédés

La Société Française de Génie des Procédés (SFGP), société savante, est une association régie par la loi du 1er juillet 1901 et créée en 1988. Ses missions sont : (i) promouvoir le Génie des Procédés auprès des enseignants, étudiants et élèves de l'enseignement supérieur, des chercheurs, des industriels, ainsi qu'auprès des enseignants et élèves des lycées et collèges, et plus généralement du public ; (ii) favoriser entre industriels, chercheurs et enseignants l'échange des connaissances et des méthodes nécessaires à l'élaboration et à l'optimisation des procédés industriels de transformation, de la matière et de l'énergie ; (iii) rassembler les industriels qui mettent en œuvre des procédés dans les grandes branches de l'Industrie Française, notamment la chimie, la minéralurgie, la métallurgie, le textile, le papier, le ciment, le nucléaire, la pharmacie, l'agroalimentaire, les bio-industries et le pétrole, etc.. ; (iv) maintenir le dialogue entre les acteurs du Génie des Procédés et les Pouvoirs Publics ; (v)

établir des liens avec les organisations poursuivant les mêmes objectifs en France et à l'étranger ; (vi) faciliter la publication et la diffusion des travaux concernant le Génie des Procédés et d'organiser pour ce faire des Journées, colloques et conférences ; (vii) analyser en permanence la situation du Génie des Procédés en France, d'en recenser les besoins et de promouvoir les recherches correspondantes. En 2013, la SFGP comprend 700 adhérents issus du monde académique et du monde industriel (45 sociétés industrielles -personnes morales- sont cotisantes). Elle a une assise nationale au travers d'associations filles régionales en Nord Pas-de-Calais, PACA, Grand Ouest et Rhône-Alpes via le CODEGEPRA pour cette dernière. La SFGP exerce la fonction de Secrétaire Générale pour l'EFCE (Fédération Européenne de Génie Chimique - 27 pays représentant 100 000 ingénieurs), fonction qu'elle partage avec le Royaume-Uni et l'Allemagne. Elle exerce la même fonction auprès de l'ESBES (European Society of Biochemical Engineering Sciences) et dispose d'un siège au WCEC (World Chemical Engineering Council). Par ses 17 Groupes Thématiques (GT) et sa participation aux activités des sociétés européennes mentionnées, la SFGP contribue à améliorer les Technologies de son domaine et à apporter des solutions aux grands défis sociétaux tels ceux de l'énergie, de l'eau et du bien-être en général. Elle assure une veille technologique et son Comité d'Orientation Stratégique (COS), qui regroupe des personnalités extérieures et les représentants de son CA et de ses GT, définit les grands axes de sa mission. Elle organise ou supporte annuellement une quinzaine de journées thématiques, colloques ou congrès. Tous les deux ans se tient son congrès bisannuel qui rassemble typiquement 650 participants. Le Congrès de 2013 se tient à Lyon début octobre : 700 communications et autant de participants sont prévus et 300 étudiants sont invités ce qui témoigne de la proactivité de la SFGP pour attirer les jeunes vers les disciplines scientifiques. Le slogan de ce congrès "les sciences du génie des procédés pour une industrie durable" reflète la volonté de notre association de relever le défi industriel de la France. Ce travail sera démultiplier au niveau européen lors du congrès de 2015 à Nice (2000-2500 participants attendus) dédié au Génie des Procédés et aux Biotechnologies avec pour slogan "Chemical and Biochemical engineering for a new process industry in Europe" et dont les Sociétés EFCE et ESBES ont confié à la SFGP le montage. Enfin, la SFGP édite la revue Procédique et collabore à la collection d'ouvrages scientifiques " Récents Progrès en Génie des Procédés" (Edition Tec & Doc Lavoisier). Il est à mentionner également qu'au travers de ses membres, la Société Française de Génie des Procédés publie de nombreux articles et livres dont deux récents intitulés "Génie des Procédés Durables, Du concept à la concrétisation industrielle" (M. Poux, P. Cognet, C. Gourdon, Collection Technique et Ingénierie, Dunod/L'Usine Nouvelle, 2010) et "Le génie des procédés et l'entreprise" (direction J.-P. Dal Pont, Hermes/Lavoisier, 2011) font partie du socle documentaire de réflexions et propositions au projet FUTURPROD.

6. Socle documentaire

- Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. European Commission; 2010.
- Global trends 2030. Citizens in an interconnected and polycentric world. Institute for Security Studies European Union; 2012.
- France 2030: cinq scénarios de croissance. La documentation Française; n°35; 2011
- Global Europe 2050. European Commission, DG Research and Innovation; 2012.
- Europe 2020 Flagship initiative - Innovation Union. European Commission, 2010.
- Manufuture. A vision for 2020. Manufuture ETP; 2004.
- Brandes F, Lejour A, Verweij G, Van Der Zee F. The future of manufacturing in Europe. Final Report, European Commission; 2007.
- Jovane F, Weskamper E, Williams D. The Manufuture road. Towards competitive and sustainable high adding value manufacturing. Springer; 2009.
- ERT's Vision for a competitive Europe in 2025. European Round Table of Industrialist; 2010.
- Preparing for our future: developing a common strategy for key enabling technologies in the EU. European Commission; 2009.
- Technology and innovation Futures: UK growth Opportunities for the 2020s. Foresight Horizon Scanning Centre, Government Office for Science; 2010.
- Flagship Project Factory of the Future National Manufacturing Platform. CNR; 2012.
- Cuhls K, Ganz W, Warnke P. Foresight Process. New future fields. Fraunhofer Institute for systems and innovation research ISI ; Fraunhofer Institute for industrial engineering; 2009.
- Manufacturing the future. Federal priorities for Manufacturing R&D. Report of the Interagency Working group on manufacturing R&D, Committee on Technology, National Science and Technology Council; 2008.
- Ezell SJ, Atkinson R D. The case for a National Manufacturing Strategy, The Information Technology and Innovation Foundation; 2011.
- The facts about Modern Manufacturing. The Manufacturing Institute, 8th edition; 2009
- Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing. Executive office of the President, President's council of advisors on Science and Technology; Jun. 2011.
- EU Manufacturing Industry: what are the challenges and opportunities for the coming years? First tentative findings of a sector-specific analysis carried out in DG enterprise and Industry; 2010.
- Supply chain decarbonization. The role of logistics and transport in reducing supply chain carbon emissions. World economic forum; 2009.
- Logistics & supply chain industry agenda council. Final report. World Economic Forum; 2011.
- Logistics 2050. A Scenario Study. Deutsche Post AG; 2012.

- A Roadmap for 21st Century Chemical Engineering. Technical strategy roadmap; 2007.
- European roadmap for process intensfication. Industry sector PI Roadmap. PetChem Roadmap European Union; 2008.
- Research Agenda for Process Intensification towards a Sustainable World of 2050. Institute for Sustainable Process Technology. Action Plan Process Intensification of the Dutch Institute for Sustainable Technology; 2011.
- Sustainable process Industry through Resource and Energy Efficiency. Roadmap, 2012.
- European Energy and Transport - trends to 2030 - update 2007. European Commission, Directorate General for Transport and for Energy; 2008.
- Energy 2020. A strategy for competitive, sustainable and secure energy. European Commission, Directorate general for Energy; 2011.
- A digital agenda for Europe. European Commission; 2010.
- Holistic industrially oriented roadmap covering all PAC research areas. Deliverable D5.20. Innovative Production Machines and Systems project; 2008.
- A holistic, industrially oriented roadmap defining the IDT and POM research agenda. Deliverable D 6.20 and D 7.20. Innovative Production Machines and Systems project; 2008.
- Factories of the future. Strategic Multi-annual roadmap. Industrial advisory group FoF; 2010.
- Preparing our future: developing a common strategy for key enabling technologies in the EU. European Commission; 2009.
- Thematic Report by the Working Team on Advanced Manufacturing Systems. High Level Group on Key Enabling Technologies; 2010.
- Mastering and deploying Key Enabling Technologies (KETs): building the bridge to pass across the KETs "Valley of death" for future European innovation and competitiveness. HLG KET working document. Mid-term document. European Commission, DG Entreprise & Industry; Jan. 2011.
- Key enabling technologies. Final report; 2011.
- Future skill supply in Europe Medium-term forecast up to 2020. Synthesis report. CEDEPOF; 2009.
- Innovative Workplaces. Making Better Use of Skills within Organisations. OECD Innovation Strategy; 2010.
- Behaghel L, Greenan N, Training and Age Biased Technological Change, Annale d'économie et de statistique, n°99-100, 2010, pp. 317-342.
- M. Poux, P. Cognet, C. Gourdon, "Génie des Procédés Durables, du concept à la concrétisation industrielle " (2010), l'Usine Nouvelle, série Chimie, Ed. Dunod.
- J.-P. Dal Pont, "Le génie des procédés et l'entreprise" (2011) Ed. Lavoisier.

7. Programme du colloque ANR-FUTURPROD

« Quelles recherches pour la production industrielle de demain ? », mardi 12 février 2013.

Site internet : http://cluster-gospi.fr/Colloque-ANR-ARP-FUTURPROD-12-02

10h-10h15 – Introduction de la journée

- JP Chevalier, professeur, CNAM Paris

- P. Briant, Directrice générale de l'ANR

10h15 – 11h15 – *Benchmark international*

- La vision européenne Manufuture, E. Weskamper, IPA Frauhofer, Stuggart

- La vision américaine, J. Sutherland, Purdue University, USA

11h15-12h45 – *Table-ronde d'industriels*

13h45-16h15 – *Les défis de la recherche française : points de vue des domaines scientifiques*

- A. Hatchuel, professeur, Mines Paris-Tech, membre de l'académie des technologies

- A. Bévort, professeur, CNAM

- Y. Dallery, professeur, Ecole Centrale de Paris

- Y. Bréchet, professeur, Grenoble INP, membre de l'académie des sciences

8. Fiches thématiques de recherche

8.1 Développer de nouvelles technologies intelligentes

8.1.1 Cobotique, assistance au citoyen

Description de la thématique

Le développement de technologies pour l'assistance à la personne (robotique/cobotique) répond à plusieurs enjeux sociétaux majeurs : vieillissement de la population active, difficultés de recrutement et fort turn-over sur des postes de travail pénibles, augmentation constante des troubles musculo-squelettiques (TMS).

Il apparaît désormais que ce développement se fera par des solutions venant de l'industrie via la recherche, avec des cobots d'assistance au geste, des exosquelettes pour déplacer des personnes et les assister dans la manutention de charges lourdes, des robots de rééducation des grands accidentés, des robots capables de repérer des individus en difficulté dans une foule et de les aider, etc.

Cette évolution vers une plus grande coopération entre l'homme et les systèmes techniques pose cependant de nouvelles questions vis-à-vis des conditions de travail. Au-delà des aspects purement liés aux risques mécaniques et physiques (vibrations, chocs, projections, etc.), la question de leur acceptation se pose : instrumentation de l'homme au travail, dépendance à la technologie, etc.

Intérêt socio-économique

La robotique de service se développe à un rythme accéléré en raison d'un marché en forte croissance, pour au moins deux raisons : la robotique, initialement dédiée au domaine manufacturier (exécution de tâches répétitives, pénibles, intégration process, opération dans des milieux inaccessibles à l'homme, etc.), a vu son éventail d'applications s'élargir considérablement vers les robots de service, d'assistance à la personne ; la robotique de service répond à une demande sociétale lourde, liée au vieillissement de la population, à la lutte contre les TMS et plus largement la pénibilité des postes de travail, etc.

Diminuer les TMS est une préoccupation majeure de santé publique (première maladie professionnelle en France avec 85,7 % des maladies professionnelles du régime général (en 2010). Au niveau européen, on estime que les TMS représentent un coût économique total compris entre 0,5 et 2% du PIB (Source : Occupational Safety and Health Administration – UE).

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

- Développement de capteurs et d'algorithmes (lois de commande) sécurisés et temps réel pour d'une part rendre le cobot/robot intelligent et autoadaptatif (temps réel) et d'autre part permettre la collaboration avec l'être humain.
- Evaluation des apports et limites d'utilisation de ces équipements vis-à-vis des conditions de travail (effort, charge mentale, autonomie, etc.).

- Miniaturisation des effecteurs et des actionneurs associés (par exemple une main humaine intégrant des capteurs sensoriels) ; intelligence artificielle
- Développements spécifiques pour embarquer l'énergie suffisante à une durée d'activité significative sans entraîner un alourdissement rédhibitoire du système.
- Développements d'unités de supervision destinées à piloter un parc de cobots/robots dans des environnements divers.

8.1.2 Développer de nouvelles technologies de fabrication (Kets)

Description de la thématique

Le défi des technologies de rupture concerne tous les domaines : matériaux (nano-matériaux, matériaux avancés), les bio-technologies, les nano et micro technologies, électronique, photonique, le génie des procédés innovants, les équipements (architecture, systèmes de contrôle-commande), de nouveaux concepts de production (desktop factories, usine flexible). Ces nouvelles technologies mobilisent de nouvelles connaissances, sont à caractère multidisciplinaire et sont basées sur une forte intensité de R&D et un cycle d'innovation rapide. Elles mobilisent des investissements importants, et de la main d'œuvre hautement qualifiée. De plus, les systèmes de production avancés, performants et adaptés doivent être développés pour assurer l'industrialisation de ces technologies. De nouveaux moyens et supports de coopération et de formation sont à développer avec des installations pilotes et des démonstrateurs.

Intérêt socio-économique

Compte tenu de leurs caractères de nouveauté ces technologies sont des facteurs de rupture mais avec des risques techniques au niveau des procédés et des moyens de production innovants et de très haute performance mis en oeuvre. Le manque de compétences spécialisées pour les mettre en œuvre doit être pris en compte. Il s'agit donc de répondre à ces objectifs de façon à garder une avance technologique et à développer des emplois hautement qualifiés. On constate que l'on est au début de ces développements qui vont conduire à des changements majeurs au niveau de la société (communication, alimentation, diminution de l'empreinte carbone, santé..). Les risques émergents pour la santé des opérateurs et des populations utilisatrices de produits nano-bio-manufacturés représentent un enjeu socio-économique à maîtriser dans le long terme, ainsi que ses effets sur l'environnement.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Ces nouvelles technologies se positionnent à la fois sur la réponse à la réduction des pertes en matière première comme en énergie, la conception de pièces multifonctionnelles, à la miniaturisation des produits comme des moyens de fabrication (micro-fabrication), aux exigences sociétales. Elles s'appuient directement sur les nouvelles connaissances scientifiques (biologie, matériaux, optique, électronique, génie des procédés de

transformation de la matière et de l'énergie..). Il s'agit d'atteindre rapidement un niveau de maturité technologique permettant l'industrialisation, ainsi au niveau des systèmes de production avec un changement d'échelle de relations entre le laboratoire et la production, en continu, constitue un enjeu important. Il pourra être levé dans une démarche pluri-disciplinaire entre spécialités de l'industrie, entre sciences techniques et sciences humaines. Il s'agit de construire des installations pilotes pour l'identification des paramètres de conduite de ces nouveaux procédés complexes, qui interagissent fortement. La prise en compte de l'utilisateur sera importante pour gérer ces systèmes complexes, nécessitant des formations adaptées. Le développement de ces systèmes de production industriels avancés s'appuie sur de nouveaux modèles intégrés et multi-niveaux pour la conception et l'exploitation des systèmes de production, utilisant la simulation numérique prenant en compte à la fois la physique ou la chimie des procédés, les procédés de fabrication et d'assemblage, les moyens de production (machines, procédés, capteurs, commande). Les aspects sociaux liés à l'acceptabilité de ces nouvelles technologies sont importants à prendre en compte. Le débat sociétal sur le risque entre dans l'entreprise et ne peut être ignoré. Il s'agit de mieux comprendre les représentations des risques, et d'accompagner le développement des compétences et des qualifications par des programmes de formation et de prévention adaptés.

Le déploiement de ces nouvelles technologies ne doit pas occulter les recherches d'amélioration répondant aux objectifs de qualité et de performance, des procédés existants (développement des BATs : Best Available Technolgies) et qui s'appuient sur des acquis à valoriser.

8.1.3 Modèles avancés : multiphysiques, multiéchelles

Description de la thématique

Compte tenu de la complexité et de la variété croissante des phénomènes rencontrés dans l'industrie et les services, la modélisation et la simulation numérique se doivent d'être multiéchelles et multiphysiques pour permettre de lever les verrous rencontrés. La modélisation & simulation avancée jouent un rôle essentiel pour la conception, l'analyse, l'évaluation et le contrôle des systèmes complexes ainsi que pour l'approfondissement de la connaissance scientifique. Selon l'objectif de la modélisation, la granulométrie pourra s'étaler depuis la molécule jusqu'à l'usine en passant par le produits et les procédés. Les outils de simulation avancée doivent également permettre d'appréhender les problèmes de manière globale, en intégrant toutes les informations et interactions disponibles, factuelles ou inhérentes au contexte extérieur (jusqu'aux aspects organisationnels) et permettre ainsi les meilleures analyses et prises de décision possibles. Seule une approche pluridisciplinaire permettra d'atteindre cet objectif.

Intérêt socio-économique

L'élaboration, le passage à très grande échelle et la mise sur le marché de procédés et de produits complexes, innovants, à forte valeur ajoutée sont désormais étroitement liées à la capacité à maîtriser la modélisation mathématique et la simulation numérique.

L'émergence de ces nouveaux outils multiphysiques et multiéchelles de très haut niveau permettra d'accélérer le développement de filières industrielles.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La représentation numérique fidèle de phénomènes physiques complexes (molécules, matériaux, fluides) nécessite l'élaboration de modèles de plus en plus détaillés sur des échelles variées (du très petit au très grand), présentant des points de vue et des propriétés multiples (multiphysique). Cela passe par l'acquisition de connaissances et données scientifiques nouvelles au travers du développement de dispositifs expérimentaux à effets séparés ou intégrés et de méthodes d'analyse expérimentale (locales, globales, distribuées, en ligne, …) permettant l'observation sur des échelles spatiales et temporelles étendues. Il est prévu d'aller jusqu'à l'échelle de l'usine et du territoire avec intégration des aspects organisationnel, logistique et humain. Tous les modèles envisagés nécessitent des outils de calcul intensif (HPC) avec la production de grandes masses de données à gérer. Il s'agit autant de mobiliser les disciplines scientifiques (physique, génie des procédés, chimie, biologie, mathématique, informatique) que de renforcer leurs interactions.

Cette thématique peut s'articuler autour de plusieurs axes :

- Modélisation et simulation des systèmes complexes (interaction vivant-physique-chimie, etc…),
- Outils d'aide à la conception, à la décision, au contrôle (en ligne et adaptatif notamment) et au pilotage des procédés et des systèmes de production voire d'un site,
- Métrologie multiéchelle pour une simulation multiéchelle
- Acquisition, stockage et traitement de données pour injection de cette information au sein de modèles prédictifs,
- Conception de nouvelles méthodes d'analyse pour le développement et la validation des outils multi-X.

8.1.4 Interaction homme/machine, communication multi-modale, interfaces intelligents, immersifs, réalité virtuelle, réalité augmentée

Description de la thématique

Les Nouvelles Technologies de l'Information (NTI) et leur intrusion au cœur des procédés industriels induisent de nouvelles modalités d'interaction Homme-Machine, Homme-Homme, voire Homme-Système de Systèmes.

Ces modalités remettent en cause l'approche traditionnelle basée sur la démonstration de la robustesse du Système Technique face au risque redouté, le plus souvent par retour d'expériences. Il ne s'agit pas de développer une interface Homme-Machine mais de modéliser une interaction «perception-cognition-action» comme un TOUT entre deux objets de nature différente.

Ces modalités exigent donc de prendre en compte la performance « Homme-Machine » de façon globale en s'assurant de l'acceptabilité de ces NTI par l'Humain et en acceptant l'erreur humaine qu'il est vain de chercher à confiner.

Elles questionnent quant à la complexité qu'induisent en situation opérationnelle les émergences facilitées par ces NTI. Elles exigent de développer la synergie entre Ingénierie du Système Technique et Facteurs Humains tout au long du cycle de vie du Système.

Intérêt socio-économique

L'essor croissant des NTI fait qu'elles se diffusent aujourd'hui très rapidement dans les systèmes de production.

Du point de vue économique, l'impact des NTI se situent à deux niveaux : une croissance du secteur manufacturier de ces NTI et une amélioration de la performance des systèmes de production utilisant des NTI.

L'utilisation croissante des NTI, aussi bien dans le procédé que pour «augmenter» les capacités de l'Humain modifie également les environnements et les conditions de travail. Si ces NTI offrent des possibilités de solutions novatrices dans certaines situations, elles peuvent également faire émerger de nouveaux risques et dangers.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Divers articles ont récemment mis en évidence la nécessité de dépasser le périmètre prescrit de l'Ingénierie Système Technique pour prendre en compte au plus tôt l'ensemble des interactions d'un système socio-technique dans son environnement opérationnel. Afin de maintenir les comportements émergents non intentionnels dans des limites acceptables, les interfaces entre le système technique et le système socio-organisationnel doivent refléter au mieux la correspondance homomorphique entre les situations d'états de procédés à risque et les schémas mentaux des exploitants percevant ces phénomènes variables à contrôler.

D'un côté, il faut confiner ces émergences vers la finalité système. D'autre part, il faut faciliter ces émergences d'interactions facteurs de performance. C'est aussi ce paradoxe que vit l'Humain, immergé dans deux univers différents avec les mêmes NTI, l'un faciliteur d'émergences peu finalisées dans sa vie sociale et l'autre constructeur d'émergences finalisées dans sa vie professionnelle.

Il y a donc une piste intéressante de recherche sur la « simplexité » à rechercher en situation opérationnelle pour allier ces deux points vue. Un paradigme complémentaire est de s'appuyer sur la construction d'une Interaction Homme-Machine finalisée en se fondant sur la possibilité de faire interopérer des modèles de processus physiologiques avec des modèles

de processus techniques. Pour être ainsi en mesure d'évaluer ensuite les possibilités de faciliter l'émergence d'interactions positives par des NTI.

L'acceptabilité des NTI doit également faire l'objet d'études sur les facteurs humains liées à leur utilisation. Elles contribueront également à l'élaboration de modèle prédictif de la performance globale Homme-Machine.:

Enfin, cette réflexion sur la complexité des émergences induit, un peu comme l'innovation a su le faire, une remise en cause en formation sur le Tout prescriptif, puisque il y a toujours un modélisateur Humain dans la boucle d'ingénierie.

8.1.5 Méthodes et systèmes d'extraction, de capitalisation, de partage, de réutilisation des connaissances dans un environnement personnalisé, centralisé ou distribué

Description de la thématique

Les systèmes de production du futur se doivent d'être plus innovants, réactifs, adaptables mais doivent aussi permettre un meilleur épanouissement des acteurs humains. Ces objectifs ne peuvent être atteints qu'en passant de systèmes de production basés sur des procédures relativement rigides à des systèmes utilisant au maximum les connaissances générées au cours de leur vie. Ceci suppose tout d'abord de généraliser l'utilisation des techniques d'ingénierie de la connaissance, permettant d'identifier, structurer, stocker et réutiliser de la connaissance, à partir de connaissances humaines tacites ou explicites, mais aussi de générer de la connaissance à partir d'expériences passées (par des techniques comme le data mining ou le retour d'expérience). Les connaissances produites devront pouvoir être utilisées "localement" mais aussi être mises en commun par des entités distribuées, et utilisées tout au long du cycle de vie des produits et des systèmes de production.

Intérêt socio-économique

- Une plus grande capacité d'innovation sur des produits plus complexes, diminution des délais de mise sur le marché des produits par capitalisation et réutilisation des expériences passées,
- Une création d'avantages concurrentiels difficilement imitables,
- Une meilleure adaptabilité, productivité et sécurité des systèmes de production, centralisés mais aussi distribués,
- Une valorisation de l'apport humain dans le travail,
- Une diffusion des savoirs et connaissances dans les réseaux d'entreprises; échanges entre entreprises de tailles et de cultures différentes.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

- De nouvelles méthodes d'extraction des connaissances à partir de sources non structurées (textes, normes, emails, compte-rendus, web...), plus efficaces et plus automatisables pour pouvoir être utilisables dans des petites structures (PME).

- Une gestion et valorisation de la connaissance dans un environnement de travail collectif et distribué, sous contraintes de sécurité et de confidentialité partielle : ontologies, interopérabilité pour les systèmes de connaissances.

- Conception de systèmes hommes-machines apprenants et auto-apprenants.

- Passage de systèmes d'informations procéduraux à des systèmes d'informations "basés sur la connaissance".

8.1.6 Concevoir et produire des produits intelligents

Description de la thématique

Les dernières évolutions de l'informatique mobile et ubiquitaire, ainsi que dans les capteurs intelligents, imposent une nouvelle compréhension des produits et des modèles de production. La tendance actuelle va vers des produits personnalisables se composant d'objets portables intelligents que l'on peut appeler Méta-produits (i.e.. vêtements, chaussures et accessoires équipés de réseaux intégrés de capteurs).

Un méta-produit est ainsi fortement axé sur le client, intelligent et personnalisable, intégrant des unités sensorielles/informatiques, puisant de l'information distribuée dans le Cloud, conduisant à un changement du paradigme avec une tendance de production collaborative (à travers internet) de produits configurables et intelligents.

Intérêt socio-économique

L'évolution envers ce type de produits entraîne un changement essentiel dans les besoins du cycle de vie des produits et ouvre des perspectives totalement nouvelles envers des modèles de production agile et orientée vers l'utilisateur, avec un impact considérable sur le coût-efficacité et de l'écologie.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les fonctionnalités requises d'un nouveau Méta-produit seront configurées par les utilisateurs finaux. La conception, sélection des composants, approvisionnement des matériaux et des capteurs, prototypage virtuel, ainsi que la planification de la production et de l'intégration des services deviennent des processus très collaboratifs nécessitant une expertise interdisciplinaire (concepteurs, producteurs de capteurs, développeurs de logiciels et autres experts tels que formateurs, médecins, développeurs de jeux, etc.). Un Méta-produit contient des dispositifs capables de mesurer en permanence, filtrer et de communiquer avec les utilisateurs. Il nécessite des interactions à tous les niveaux, de la modélisation et la simulation numérique à la réalisation physique et les tests ce qui engendre une gestion des flux complexes de données sensorielles telles que des données de mise à jour, de sécurité… qui doivent être communiqués en temps réel (ie. par des téléphones intelligents via Bluetooth ou le wi-fi).

De nouvelles recherches autour des systèmes d'information du cycle de vie sont nécessaires pour soutenir la réalisation et l'essai de plusieurs prototypes numériques et permettre leur

synchronisation avec le prototypage physique et ses essais. Notamment pour gérer plusieurs alternatives en parallèle, en utilisant des mécanismes de l'ingénierie concourante de type « Set Based Concurrent Engineering » (SBCE) et en étudiant la faisabilité des alternatives par une validation au fur et à mesure des données et des connaissances. Ceci permettra de converger vers des solutions plus innovantes et robustes.

Dans une vision où le méta-produit évolue avec son usage, la conception doit intégrer des pratiques de type « User Centred Design » (conception centrée utilisateur). Ces pratiques nécessitent une interprétation virtuelle des comportements des futurs utilisateurs des méta-produits. En complément des architectures d'information évoquées précédemment pour la gestion du cycle de vie des produits une intégration des techniques de réalité virtuelle ou augmentée pour l'anticipation des usages produits en début de conception devra être étudié. Avant leur mise sur le marché il est indispensable de qualifier les composants techniques et logiciels et un simulateur du système proposé dans un environnement virtuel serait donc un élément de forte valeur ajoutée.

8.1.7 Connaissance et système de production : de l'adaptation à la préservation

Description de la thématique

La connaissance constitue un élément clé de tous les systèmes de production. Son caractère abstrait et son aspect multiforme en font un élément toujours difficile à appréhender et à maîtriser. Il est cependant possible de la caractériser par une nature rassemblant, d'un côté de la connaissance dite « contextuelle, de surface, spécifique… », et de l'autre, une connaissance plus « générale, profonde, générique… ». Cette nature s'associant respectivement à des supports descriptifs comme « des observations, des situations, des cas, des couples problème/solution… », ou des supports prescriptifs comme « des règles, des lois de comportement, des procédures, des processus, des modèles de références… ». Pour les systèmes de production, la maîtrise des connaissances est une nécessité pour (i) réaliser (processus de conception et de pilotage), (ii) décider (en conception/mise-au-point, en pilotage/exploitation…) et (iii) pour créer de nouvelles connaissances (indispensable à l'innovation). La conservation de ces connaissances à long terme est de plus en plus exigée, bien au-delà de la fin de vie du système ou du produit concerné. Le problème clé est d'avoir la bonne connaissance et sous la bonne forme au moment opportun pour réaliser, décider et innover. Pour ce faire les systèmes d'information et les méthodes/outils issus de l'intelligence artificielle sont mis à contribution. Cependant, leur intégration ou leur association avec des outils de type ERP et CAO-PLM est encore très modérée. L'enjeu est en conséquence d'élever le niveau de maturité de ces systèmes à base de connaissances (KBS) afin de pouvoir réaliser, décider, innover de manière optimale.

Intérêt socio-économique

Bien qu'ils soient multiples et variés, deux intérêts clés peuvent être mis en exergue. L'évolution rapide et tout azimut des besoins et des techniques font qu'il n'est plus possible

de se reposer sur la seule expertise humaine. La bonne association des KBS avec les ERP/CAO-PLM devient indispensable pour réaliser, décider innover au mieux. De manière similaire, les carrières des acteurs ne sont plus linéaires et un acteur quittant l'entreprise emmène avec lui ses connaissances. Il en va de même dans les entreprises en réseau où les collaborations sont à durée limitée. En conséquence le besoin de pérennisation des connaissances devient incontournable.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La diversité des problématiques propres aux connaissances dépend donc fondamentalement (i) de leur nature (générale/contextuelle), (ii) de ce qu'elles représentent (cas, règle, procédure, modèle…), (iii) des formalismes d'exploitation (raisonnement à partir de cas, fouille de données, système expert, inférence ontologique, propagation de contraintes…) et bien sûr (iv) du secteur d'application (le manufacturier et la grande distribution ne génèrent pas les mêmes problématiques par exemple). Le plus souvent, chaque travail de recherche se situe au carrefour des quatre caractéristiques précédentes et on assiste à une forme de segmentation des travaux et des solutions en matière de KBS. Un premier verrou serait de proposer, pour les systèmes de production, des approches globales (outils, modèles, méthodes) permettant de fédérer l'exploitation de toutes les formes de connaissances. Nous entendons par exploitation : identification, modélisation, stockage, exploitation, maintenance et retrait. Ceci concerne également la préservation des Information et connaissances à long terme en garantissant la traçabilité, la réutilisation et la sécurité de l'information numérique. L'intérêt ici porte sur l'adaptation dans le temps des connaissances modélisées (ainsi que la migration des données pour lutter contre l'obsolescence matérielle et logicielle), leur formalisation et leur conservation. Du point de vue technique, les verrous à lever sont liés à la place de la technologie et l'apport des standards (ie. OAIS Open Archival Information System) et des open standards en particulier. Un second verrou serait de concilier ou d'autoriser au sein de ses approches, l'interdisciplinarité des domaines (mécanique, thermique, plasturgie, électronique…), l'aspect arborescent/multi-niveaux des entités (composant élémentaire, sous-ensemble, systèmes, systèmes de systèmes…) et l'incertain (confiance en la connaissance, complétude, couverture…). Ceci probablement à l'aide de principes de l'ingénierie dirigée par les modèles et de certains concepts issus des travaux sur l'interopérabilité. Le troisième verrou, déjà évoqué, consiste ensuite à rechercher, définir et valider des modes d'association et/ou d'intégration de ces KBS avec les progiciels clés de l'entreprise ERP et CAO-PLM. Un dernier verrou très critique, relevant probablement plus du juridique, est relatif à la possession et au partage des connaissances dans le cadre de développement coopératif.

8.2 Développer les outils pour concevoir et organiser les systèmes de production

8.2.1 Systèmes de production polyvalents, reconfigurables, réutilisables, mobiles, robustes - Agilité des systèmes de production

Description de la thématique

L'objectif est de produire en utilisant au mieux les équipements de l'atelier, de l'usine ou de la chaîne logistique de façon à être capable de réagir très rapidement aux évolutions de la demande (quantité, qualité, évolution du produit, adaptation à des besoins spécifiques...). Dans ce but, les processus socio-techniques impliqués dans la production doivent pouvoir se réorganiser en permanence : affectation des opérateurs, réorganisation de l'atelier, répartition différentes des capacités, recours à la sous-traitance... Afin d'être plus proche du consommateur, certains équipements doivent être conçus afin d'être transportables. Tout ceci impose des avancées technologiques au niveau des machines elles-mêmes (postes modifiables, modulaires, équipements mobiles), des systèmes de pilotage et d'information (eux aussi reconfigurables de manière opportuniste), des compétences disponibles (opérateurs pluri-compétents), des produits (produits modulaires, composants réutilisables) et de l'organisation de la production (lignes multiformes, plates-formes multi-projets, etc.)

Intérêt socio-économique

L'enjeu est de permettre une adaptation quasi temps réel à la demande, en raccourcissant le délai de mise sur le marché comme la montée en cadence et le temps de cycle. Il s'agit donc de rechercher un avantage concurrentiel orienté sur l'innovation (technologique et organisationnelle) et l'adaptation temps réel aux marchés, par opposition à une stratégie de production de masse, à bas coût, issue des pays émergents.

L'exploitation de modèles génériques d'atelier ou d'usine doit permettre un choix rapide de la localisation de la production en fonction de la demande, par le choix de partenaires ou un déplacement éventuel du système de production. La reconfiguration et l'adaptation doivent permettre de réaffecter les ressources humaines en fonction des besoins : les opérateurs doivent donc être pluri-compétents et peuvent être amenés à se déplacer avec les équipements.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Il s'agit de rendre le système de production performant sur une période temporelle longue, sans prévision suffisante et avec des cibles de marchés plus larges et incertaines. Les verrous se situent à différents niveaux : équipement, atelier, usine, de façon à répondre aux objectifs de qualité (géométrie, technologique), de réactivité, et de coût.

Des modèles intégrés pour la conception et l'exploitation de ces systèmes de fabrication reconfigurables sont à développer. Ces modèles doivent prendre en compte les caractéristiques du produit (composition, matériau, géométrie, composants de produits, gamme générique…), du processus de fabrication (technologies mises en oeuvre), et du

système de pilotage de la production (système d'information, commande, contrôle qualité...) dans une approche multi-disciplinaire, multi-niveaux et multi-vues (technologiques, organisationnelles, interopérabilité des systèmes d'information, humaines, sociétales, de prévision, d'indicateurs...). Ils doivent aussi permettre de prévoir les performances des processus et du système de production (virtual manufacturing) et aider aux choix stratégiques (quand et quoi reconfigurer).

De nouveaux équipements (mécaniques, électroniques, systèmes de transports, stockage, outillages, réseaux de communication, interfaces..) et logiciels (commande distribuée "plug and play", communication homme-machine, systèmes d'information interopérables…) sont à développer de façon à répondre à ces objectifs d'une façon cohérente, en particulier compte tenu de l'évolution attendue des produits (miniaturisation, qualité, variabilité), et des procédés (KETs, fabrication rapide, nouveaux procédés...) dans un contexte de modularité et de mobilité (au sein de l'atelier, à proximité du client).

8.2.2 Pilotage de systèmes complexes et nouveaux paradigmes pour l'organisation et le pilotage des systèmes de production basées sur les systèmes biologiques (approches auto-immunes, génétiques)

Description de la thématique

Pour qu'un système de production puisse faire face aux changements multiples de la demande et aux perturbations, son pilotage doit pouvoir bénéficier d'une forme d'intelligence. Il doit pouvoir adapter l'organisation de la production (affectation des ressources, changement de politique de gestion…), afin de pouvoir rester performant en toutes circonstances. Il faut pour cela être capable de détecter et analyser la situation dans laquelle se trouve le système, puis de proposer les meilleures décisions pour qu'il s'adapte au mieux aux conditions actuelles et à venir. Cette "intelligence" repose sur des connaissances de diverses natures (algorithmique, experte, basées sur l'expérience, globale, locale), qui peuvent être particulièrement difficiles à éliciter et à mettre à jour. Ces connaissances doivent être exploitées selon différents types de modèles (hiérarchique, hétérarchique…) nécessitant des protocoles de communication, de négociation et des interfaces hommes/machines adaptés (modèles agents, holoniques, objets communicants…). Le système ne doit pas être trop affecté en cas de défaillance d'un de ses composants.

Intérêt socio-économique

Il s'agit ici de permettre au système de production d'être mieux armé pour faire face aux changements et aux aléas. Dans un contexte de moins en moins prévisible, le système de production doit se doter d'une capacité à utiliser au mieux ses moyens de production et ses compétences, et à savoir comment réagir en cas d'imprévu. Il s'agit de rester compétitif dans des situations variées et mal maitrisées. L'intelligence mobilisée doit pouvoir, si besoin, bénéficiée aux différents acteurs du réseau partenarial.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les connaissances nécessaires s'avèrent très difficiles à éliciter car l'expertise disponible reste limitée. En effet, le caractère combinatoire, aléatoire, incertain et dynamique des systèmes de production entraine une complexité importante. Ces connaissances sont également de nature diverse : certaines sont algorithmiques (procédures d'optimisation), d'autres très empiriques, d'autres peuvent être issues de processus d'apprentissage automatique, de fouilles de données ou de simulations. Elles doivent pourtant cohabiter dans des modèles où chaque agent, ou holon, impliqué dans les décisions portant sur l'organisation de la production, doit pouvoir les exploiter pour diagnostiquer une situation et négocier des changements d'organisation locaux ou globaux. Si des travaux impliquant des systèmes multiagents existent, il reste beaucoup à faire, notamment pour que les agents se dotent de façon effective de capacités plus intelligentes (raisonnement, capitalisation, apprentissage, négociation…), pour rendre ces démarches plus génériques, plus compatibles avec les ERP, les MES, les modèles de simulation (interopérabilité…). Par ailleurs, les possibilités offertes par l'internet des objets vont ouvrir des possibilités de dialogue et de négociation entre machines, outils, produits, moyens de manutention, très prometteuses. Elles représentent donc un potentiel très important qui demande à être étudié. Les approches issues d'analogies biologiques (immunitaires, génétiques, société d'insectes…) constituent une source d'inspiration qui mérite de continuer à être investiguée, afin de déterminer des modèles d'adaptation et de raisonnement utilisables pour les systèmes de production.

8.2.3 Produit actif, intelligent, système de production géré par le produit
Description de la thématique

D'un côté, de par une évolution du besoin industriel vers plus d'adaptabilité, de réactivité et d'agilité, il devient important de travailler autour du changement de paradigme concernant les approches habituelles du pilotage de la production, trop centralisées, rigides, inertielles et peu adaptable. D'un autre côté, les technologies actuelles de type Auto-ID, en particulier RFID, dans un contexte d'intelligence ambiante et d'« Internet of things », de « cyber-physical systems », d'informatique embarquée et distribuée, permettent d'octroyer à des coûts sans cesse réduits des capacités de décision et d'information aux entités composants les systèmes de production, qu'elles soient produits, ressources, composants. Ces entités deviennent alors « intelligentes » et actrices dans les différents processus décisionnels de management qui les concernent, tout au long de leur propre cycle de vie, de leur conception à leur démantèlement, en passant par les phases classiques de production, distribution et maintenance. Ces entités contribuent au pilotage de leur propre vie et peuvent alors devenir la colonne vertébrale dans un système plus large de logistique ou de production de biens ou de services facilitant par conséquent l'interopérabilité et la traçabilité. Le verrou vieux de 60 ans de la désynchronisation des flux physiques et des flux d'informations serait alors par ce fait résolu.

Intérêt socio-économique

Les intérêts sociaux-économiques sont très variés. Ils portent sur des gains décrits principalement en termes de réactivité, agilité, traçabilité et interopérabilité et impactent donc directement les stocks, les délais, les coûts plus généralement. Les secteurs concernés, dans lesquels des nouveaux usages restent à proposer pour ces technologies, sont : l'industrie de production (chaînes logistiques, industrie manufacturière), la construction (bâtiment intelligent, infrastructure intelligente), le secteur hospitalier (pharmacie, urgences) ou encore le transport de biens (frets) ou de personnes. La capitalisation d'informations tout au long du cycle de vie du produit ouvre aussi des perspectives sans limites claires.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les verrous scientifiques concernent principalement la résolution des problèmes inhérents à ce type d'approche où apparaissent d'autres relations que purement hiérarchiques, induisant de nouvelles organisations où des mécanismes comportementaux émergents côtoient un ensemble de décisions planifiées de manière centralisée et par anticipation des événements. La vérification et la garantie des performances des architectures correspondantes, l'ingénierie de l'émergence, l'interopérabilité avec les systèmes d'information et de décision existants, l'interaction et la coopération avec les opérateurs, la gestion des connaissances générées par les entités intelligentes, l'optimisation des processus de décision et d'information ainsi que la définition de méthodologies de déploiement sont autant de verrous scientifiques à lever. Scientifiquement, cette thématique se trouve à la frontière de nombreuses disciplines : l'intelligence artificielle distribuée, la recherche opérationnelle, les systèmes à événements discrets, la mécatronique et l'infotronique, les systèmes de télécommunications, l'informatique réseau, la mécanique (closed-loop PLM), l'ingénierie système et la simulation. Les développements théoriques relatifs à cette thématique sont fortement novateurs et en rupture avec les approches classiques, ils cherchent à exploiter le potentiel induit par plus d'intelligence, d'autonomie des systèmes numérisés (systèmes physiques virtualisés) pour développer de nouveaux environnements cyber-physiques où l'homme et les avatars des entités physiques qu'il met en action interagissent et coopèrent.

8.2.4 Mise en œuvre de l'usine numérique en simulation et pilotage

Description de la thématique

La simulation numérique pour la prise de décision, l'évaluation prédictive des performances du produit et du système de fabrication, le pilotage de la production, l'analyse de la situation de travail constitue un outil permettant un gain significatif d'efficacité, de temps, de coût. Il s'agit en particulier de répondre à la prise en compte des nouveaux produits, des nouvelles technologies et organisations, des incertitudes, imprécisions, variabilités en termes technologique, économique, logistique, humain, auxquelles sont confrontés les systèmes de production. L'objectif est de développer des outils de « virtual manufacturing » mettant en œuvre des modèles représentatifs de plus en plus complets, précis, représentatifs du réel, prenant en compte les connaissances métiers, intégrant l'ensemble du cycle de vie du produit

(conception, processus de fabrication, utilisation, retrait). Même si des progrès techniques ont été réalisés, ces outils de simulation présentent encore des limites vis-à-vis de la représentativité de l'activité simulée par rapport à l'activité future probable (prescrit vs. réel). Les enjeux portent sur l'approche multi-vues, multiphysiques, multi–échelles, pluridisciplinaires, l'utilisation des informations disponibles au juste nécessaire en fonction de l'état du produit ou du système, l'interopérabilité des modèles et outils mis en œuvre, le choix des outils d'aide à la prise de décision. Initialement réservés aux bureaux d'études de grands groupes industriels, ces logiciels se diffusent dans les PME. La mise en œuvre de l'usine numérique est particulièrement pertinente pour le déploiement de nouvelles technologies de production (KETs, fabrication rapide, intensification des procédés..) pour lesquelles les temps de développement sont longs et coûteux au niveau technique, mais également pour la prise en compte des facteurs et comportement humains ayant une forte variabilité. Ces modèles d'usine numérique peuvent être mobilisés à la fois au niveau prédictif (conception et validation du système de production) comme en fonctionnement pour le pilotage en temps réel.

Intérêt socio-économique

Compte tenu de la variabilité de la demande, de l'importance croissante des nouveaux enjeux sociétaux, de l'évolution des technologies et des organisations, de la diversité des personnels (compétences, connaissances, sexe, âge, ...), les outils de simulation permettent de disposer rapidement d'informations fiables permettant de répondre aux objectifs socio-économiques identifiés. La fabrication virtuelle permet la réalisation au juste nécessaire des expérimentions et des prototypes, une réduction importante des temps d'étude et d'industrialisation, la simulation de la chaîne de valeur, l'évaluation des impacts et des risques (technologiques, délais, coûts, humains, …), des temps de montée en production, et l'optimisation de la production et des chaînes logistiques.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

On constate une fragmentation des logiciels utilisés qui est un frein à une modélisation plus globale et à l'intégration entre les composantes des systèmes de production (produits, ressources, procédés, processus, atelier, usine) afin de prédire les performances (qualité du produit industrialisé, productivité, réactivité, coût, performance…) du système en prenant en compte le maximum de points de vues (technique, social, environnemental, économique, logistique, humain...). Aussi il s'agit de développer des approches, méthodes, modèles génériques et outils permettant de prendre en compte la multidisciplinarité comme des niveaux variables de modélisation (micro- meso- macro). Des modèles produits incomplets associés à l'état de développement du projet, prenant en compte des caractéristiques technologiques ou des incertitudes géométriques ou technologiques, sont encore à intégrer au sein des outils de représentation et de simulation.

Des verrous scientifiques portent également sur la formalisation et la structuration des connaissances (lois, règles de connaissances plus ou moins explicitées, états intermédiaires, ..)

et sur la proposition d'indicateurs de cohérence, complétude, pertinence, robustesse et incertitudes des modèles et des résultats obtenus. Les outils de traitement utilisés pour la prise de décision, doivent être adaptés, prendre en compte la propagation de l'incertain dans les modèles et assurer un temps de calcul compatible avec les objectifs et la maturité du projet.

8.2.5 Développer des technologies / machines / procédés / installations propres moins consommatrices de ressources physiques et/ou humaines

Description de la thématique

The core of the theme will be to develop more flexible and scalable processes at lower capital and operating costs, the research of new design for process and equipment enhancing efficiency (energy, material yield, productivity).

- New equipment and processing resulting in significant increase of productivity, allowing new operating windows (P,T,t) not possible with conventional equipment
- Smaller sized equipment, requiring less material to construct, resulting in lower invest plants, easier and faster to develop and adapt to changing requirements.
- Adapted process modeling and to run such highly productive units with their shorter time constants. This is instrumental in enabling the application of the PI technology

Thus, we should address production process in terms of innovative technology. (Transformation/reaction part or separation part or whole process, depending on the process limitations identified). Note that the project has to deliver demonstration process unit: in this objective, project should tackle process controllability, on-line analysis, and it is mandatory to confirm eco-efficiency improvement by appropriate evaluations (LCA, Sustainability index,).

This core activity will have a high short-term impact in designing future solutions and better planning, as well as on process efficiency and economics. The technological eco-system is changing and PI has the potential to provide new efficient solutions. One important point is to propose retrofit to existing production unit to improve European industry competitiveness and also a large part dedicated to industrial demonstrator for innovation.

Intérêt socio-économique

Life cycle analysis, cradle-to-gate, will be mandatory to measure the impact on resource and energy efficiency, coupling with economic comparison with existing solutions.

- Faster cash conversion cycle (higher NPV), Favorable economics
- Resource Efficiency Benchmarking
- High efficiency small scale production
- Follow the market in capacity and location (flexible)
- Easier adoption to new technologies
- New supply chain models possible
- Robustness
- Fulfill unmet needs (niches)

Expected improvements are up to 30% in energy efficiency and up to 20% in resource efficiency through transformation yield improvement, increase in selectivity and better heat management.

Benefits on Capex and Opex are also awaited. Main challenge is to reach sufficient benefits for upgrading or retrofit of existing production facilities, allowing short ROI.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

- Close Knowledge gaps by identifying, developing and implementing novel processes allowing the adoption to alternating or cycling energy and feedstock fluctuations (basic research).
- Close Technology gaps by establishing efficient alliances with over different industry sectors (development).
- Technology Integration through cross-sectorial demonstration for selected and key applications (High efficiency small scale production) (demonstration)
- Market Implementation by removing barriers to deployment by addressing the complexity of supply chain and valorization.

Addressing potential societal barriers to deployment by gaining public acceptance of required infrastructures (commercialization).

Focus on new process concepts, from "cathedral" to smaller modular plants, by allowing:

- Asset light investments
- Faster cash conversion cycle (higher NPV)
- Adapt to the market in terms of capacity and location (flexibility)
- Easier adoption of new technologies
- New supply chain models feasibility

This will also allow getting a better and improved control over the process yielding a higher productivity and selectivity and a new stage in inherent safety through; Lower Investment, Less raw material consumption, less energy intensity and Easier to safeguard.

8.2.6 Définir les indicateurs permettant d'identifier et d'anticiper les marchés

Description de la thématique

Si l'innovation est considérée depuis de nombreuses années comme un élément moteur de la croissance économique, les modalités d'introduction de nouveaux produits et/ou services sur des marchés existants ou à créer restent un sujet de recherche important, tant au niveau des pratiques industrielles qu'au niveau des politiques publiques d'aide et de soutien à l'innovation. Il s'agit notamment de développer de manière systémique des outils d'analyse efficaces et aptes à aider les décideurs dans l'orientation de leur stratégie de développement de nouveaux produits et/ou services. Ces outils devront prendre en compte non seulement les données techniques et ergonomiques relatives aux usages potentiels des produits innovants mais également les données relatives à leur insertion dans les pratiques

économiques des consommateurs/clients finaux (qui peuvent elles-mêmes connaître des évolutions radicales).

Intérêt socio-économique

Constituer une palette d'outils d'évaluation des potentiels de valorisation d'innovations produit/services. Ces outils doivent permettre aux entreprises innovantes d'orienter plus favorablement leur stratégie de développement et de R&D, aussi bien au niveau de la conception technique des produits et services qu'au niveau de l'anticipation des marchés porteurs.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Souvent analysée de manière séquentielle et mono-disciplinaire, l'introduction de nouveaux produits/services nécessite une approche pluridisciplinaire où les sciences de l'ingénieur doivent bénéficier des avancées réalisées par les sciences humaines et sociales dans les domaines de l'innovation par les usages, de l'évaluation économique des produits innovants, du management et développement de nouveaux modèles d'affaires, etc. Les verrous scientifiques sont nombreux notamment au niveau de la compréhension des comportements des consommateurs face aux innovations, de la définition de « l'acceptabilité » des produits/services, de la valorisation potentielle de nouvelles valeurs de consommation (éthique, environnementale, sociétale, etc.)

Les pistes de recherche de cet enjeu sont :

- l'intégration des consommateurs finaux dans les phases amont de la conception des produits et services, en termes d'usage mais également d'acceptabilité sociale,
- l'évaluation des disponibilités à payer des consommateurs pour les produits/services innovant, au regard des produits existants et des contextes concurrentiels,
- la prise en compte des nouvelles dimensions/valeurs de consommations issues d'une société de plus en plus « responsable ».

8.3 Développer de nouvelles compétences professionnelles

8.3.1 Hyperspécialisation des compétences

Description de la thématique

Cette thématique s'attache à explorer les conséquences d'un modèle industriel appuyé sur des niches high-tech ou sur des technologies diffusantes à forte valeur ajoutée sur la dynamique des compétences et des qualifications. Quels sont les professions ou les métiers qui sont amenés à se développer en lien avec ce modèle industriel ? Ces métiers seront-ils construits autour d'une spécialisation forte des domaines de connaissances ou au contraire solliciteront-ils des domaines de connaissances étendus ? Quel degré de stabilité auront ces domaines de connaissance ? Ces métiers seront-ils localisés en Europe ou bien certains d'entre eux feront-il l'objet d'une externalisation en fonction de la dynamique de développement des marchés porteurs et de l'organisation des activités de conception ?

Conduiront-ils à l'émergence de nouveaux groupes professionnels et à de nouvelles formes d'organisation du travail des activités dans les réseaux de production de connaissances créatrices de valeur ?

Intérêt socio-économique

Un modèle industriel basé sur le développement local ou global de technologies à forte valeur ajoutée est susceptible de conduire au développement de professions « technologiquement intensives » c'est-à-dire s'appuyant sur une base de connaissance à la fois spécialisée et en renouvellement rapide. Or le risque d'obsolescence associée à l'investissement dans cette forme de capital humain est important. Comment favoriser les investissements nécessaires au développement du modèle industriel tout assurant une prévention efficace des risques associés à ce type d'investissement pour la main d'œuvre ?

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Le verrou principal de cette thématique est lié au développement individuel et organisationnel d'une capacité à réapprendre. Il s'agit de mieux identifier les mécanismes d'obsolescence des compétences et les métiers et professions émergentes qui y sont/seront les plus fortement exposés. Le vieillissement de la population active, les phénomènes de surqualification, le maintien d'emplois précaires à faible niveaux de qualification, la standardisation du travail interagissent avec l'obsolescence des compétences et les mécanismes de réapprentissage. Comment favoriser le développement de la formation tout au long de la vie et les contextes de travail apprenants, qui renforcent la capacité à réapprendre ? Comment les coûts d'adaptation des compétences doivent-ils être partagés entre les différentes parties prenantes du modèle industriel ? Comment les politiques industrielles, les politiques du travail et les politiques de l'emploi doivent-elles être articulées pour soutenir le développement de la capacité à réapprendre ?

8.3.2 Des métiers industriels émergents dans une société de service

Description de la thématique

Avec le développement économique d'un pays, la part des emplois relevant de l'activité manufacturière stricto sensu dans l'économie ne cesse de diminuer au profit de nouveaux emplois pour assurer des fonctions de services indispensables à la croissance globale d'un pays et à sa cohésion (éducation, santé, sécurité, justice). Tel est par exemple le cas en Chine où des emplois émergents en vue de l'établissement d'une sécurité sociale et d'un système de retraite. Cette réduction de la part des emplois dans l'activité manufacturière peut être largement compensée par l'émergence de nouveaux métiers de services permettant de générer des emplois supérieurs créateurs de richesses et de croissance économique. Ces nouveaux métiers peuvent être liés à des activités de conception et d'innovation (ex : part croissante de ces emplois à Singapour dont la taille réduite du pays ne permet pas une extension de l'activité manufacturière), à des activités de formation et d'éducation (ex : développement de nouveaux programmes pédagogiques), à des emplois de solidarités inter générationnelles (activités relevant du sanitaire et social, activités de protection de

l'environnement) et enfin à des emplois de loisirs (tourisme, culture). Toutes ces activités, déjà présentes dans les sociétés avancées, vont connaître des mutations dans les années à venir par l'utilisation et la diffusion de nouvelles techniques.

Intérêt socio-économique

Développement de nouvelles activités et de nouveaux métiers pourvoyeurs d'emplois. Les sociétés qui sont parvenues à développer largement les activités de services ont un niveau d'emploi plus important que les autres pays (ex : Europe du Nord, Etats Unis).

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Inverser la représentation traditionnelle de la dynamique économique et de la production consistant à considérer l'industrie et l'activité manufacturière comme étant motrices du développement économique et des services. Ce sont les activités de services qui consomment le plus d'autres activités de services (télécom, banque, assurance, santé, tourisme).

Considérer les activités de service comme source d'innovation et de développement de nouvelles fonctions sociales qui permettent la demande pour de nouveaux biens et activités industrielles (ex : les hôtels Formule 1 du groupe Accor ont nécessité de nouveaux matériaux).

Analyser les conditions du travail, d'innovation et d'organisation des activités de services pour mieux comprendre les conditions d'émergence de nouvelles activités de services et la mobilisation induite d'activités industrielles.

8.3.3 Nouvelles répartitions des tâches

Description de la thématique

La rigidité des systèmes de production et la non flexibilité du travail à l'ère industrielle du Taylorisme, a été remplacée par de nouveaux modes de production vers plus de rotation aux postes de travail et de polyvalence. On évolue aujourd'hui vers une poly-compétence variant selon les postes. L'homme au travail doit faire preuve d'intelligence d'adaptation dans un système de fabrication avancée, plus complexe en interaction et en process d'innovation et de production.

Les contraintes marchandes s'entremêlent avec les contraintes commerciales et de sécurité. Il doit y avoir une meilleure intégration des activités et de nouveaux modes du travail. Les tâches sont à la fois réparties formellement dans l'organisation du travail et elles font l'objet de négociation des contraintes entre les acteurs. De nouvelles formes de répartition des tâches s'organisent dans les systèmes de fabrication avancée et invitent à penser la question des innovations organisationnelles accompagnant les innovations techniques.

Intérêt socio-économique

Une meilleure répartition des tâches selon le rôle de chacun des acteurs et leur possibilité de coopération aura l'intérêt d'assurer un fonctionnement plus efficient d'un système de

production flexible et adaptable. La transformation des organisations industrielles aura des retombées économiques sur la performance globale des entreprises.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les technologies de production industrielle permettront au salarié de pouvoir piloter de façon cohérente des projets innovants depuis la maison ou le bureau sur des chaînes opérationnelles et logistiques réparties sur le monde entier. Plusieurs pistes de recherche sont à investir avec ces nouvelles formes de répartition des tâches :

- Les systèmes de prise d'information partagée : pour travailler ensemble à distance sur un même objet, mais aussi pour assurer une continuité et une cohérence des actions de chacun ;
- La construction de langage commun et de références pour piloter conjointement la conception produit-process-service ;
- La création d'infrastructures favorisant la coordination des différentes ressources humaines et techniques
- Les ressources cognitives sont à développer dans le travail ;
- Les structures organisationnelles qui créent des relations de dépendance entre opérateurs et de cloisonnement des activités, telles que le lean manufacturing, sont à interroger pour aller vers des organisations du travail apprenantes, respectant la complémentarité des compétences dans la performance et l'innovation.

8.3.4 Nouvelles formes d'apprentissage et de transmission des connaissances, "serious game", formation tout au long de la vie, formation en situation de travail, accès à la connaissance externe en situation de travail

Description de la thématique

Tant que la massification scolaire rimait avec la croissance économique, l'utilité sociale du diplôme était forte, particulièrement en France. L'ancrage de la crise dans la durée n'amoindrit pas cette utilité et les 122 000 jeunes qui sortent chaque année du système éducatif sans diplôme du secondaire sont particulièrement exposés aux risques de précarisation. Toutefois, si la certification reste une garantie minimale pour entrer en emploi, la qualité de l'insertion professionnelle ne dépend plus seulement du niveau et de la spécialité du diplôme obtenu. De plus en plus, l'apport de connaissances supplémentaires débordant la préparation à un métier et lié aux singularités des cursus individuels fait la différence entre les candidats à l'embauche. Aujourd'hui, cette diversification des formes d'apprentissage et des itinéraires suivis ne joue plus seulement sur les premières années d'entrée dans la vie active, elle est aussi déterminante sur la configuration des carrières professionnelles d'adultes.

Intérêt socio-économique

La formation tout au long de la vie couvre plusieurs objectifs. Celui d'accompagner les entreprises confrontées aux mutations économiques en les rendant plus innovantes et capables de se positionner sur des segments porteurs. Celui de permettre aux salariés de maintenir une veille active quant aux évolutions technologiques et organisationnelles de manière à mieux maîtriser leurs parcours professionnels. Celui de combler les lacunes des personnes ayant quitté prématurément le système éducatif. Sans ce troisième objectif, les deux premiers seraient contre-productifs en maintenant à l'écart du développement une part importante de la population.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les dispositifs concourant à la formation tout au long de la vie sont nombreux et reposent sur des montages financiers complexes en sorte que leur visibilité n'est pas optimale pour les entreprises et pour les salariés. Ce constat est partagé par les partenaires sociaux et les pouvoirs publics qui s'efforcent d'y remédier. Au gré des réformes, subsiste pourtant un résultat d'études régulièrement vérifié : la formation appelle la formation et elle ne profite que trop peu à ceux qui en sont restés initialement éloignés. Certes, les travaux en sciences de l'éducation, psychologie et sociologie ont levé nombre d'incertitudes sur la nature des apprentissages à l'école et au travail et sur le caractère probant de l'alternance au-delà des visions réductrices, sinon illusoires, qui en font un instrument à éradiquer le chômage. Certes, la formation en ligne, les outils ludo-éducatifs, la simulation numérique permettent de faciliter l'accès aux savoirs de personnes éloignées des espaces traditionnels de diffusion tout en installant les conditions d'une pédagogie participative. Toutefois, les obstacles qui rendent la part d'effort de certaines catégories pour entrer en formation plus importante que pour d'autres sont loin d'être levés (ainsi, pour se former, les femmes réorganisent leur vie).

8.4 Produire et distribuer dans les chaînes logistiques du plus près des marchés au monde entier

8.4.1 Développer des collaborations d'entreprise dans un contexte multi-culturel

Description de la thématique

L'influence du contexte international sur les collaborations entre entreprises est une question importante et largement ouverte. Dans la littérature en sciences de management et plus particulièrement en management des entreprises multinationales et de gestion de l'expatriation, la tendance est de mettre en évidence l'impact de la culture nationale sur le management. Les sociologues du travail récusent cette approche par trop déterministe. Ils ont constaté sur des terrains le faible poids des cultures nationales, mais la grande importance des cultures organisationnelles pour fonder les différences entre les diverses entités productives. S'il existe des problèmes linguistiques certains, il existe aussi de grandes différences dans les manières de produire, de penser les relations hiérarchiques, d'envisager les relations avec les sous-traitants etc.... Il est donc très important de vérifier si la culture

nationale est essentielle ou bien l'arbre qui cache la forêt pour travailler sur les modes de collaboration inter-entreprises dans un contexte multi-culturel.

Intérêt socio-économique

La mondialisation oblige à ces collaborations dans des contextes spécifiques, autour de productions communes avec des modes d'action héritées du passé. On peut éviter les problèmes engendrés par ces confrontations en apprenant à les analyser sous un angle différent.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La diversité des cultures organisationnelles sont les résultantes de cultures de métiers, de cultures professionnelles, de modes d'organisation internes et d'éléments de culture nationale. Ces dimensions sont essentielles quand on veut faire collaborer des entreprises. Les différentes thèses présentées ci-dessus (poids respectifs des cultures nationales vis-à-vis des cultures organisationnelles) montrent la nécessité et l'intérêt de travailler sur le sujet.

Penser l'organisation, penser que les choix organisationnels produisent des effets sur les hommes au travail, sur la rentabilité des entreprises etc... est facile à énoncer, mais difficile à faire admettre tant les cultures professionnelles des ingénieurs et des chercheurs en sciences sociales diffèrent. Or cette dimension est très certainement importante. L'intérêt est donc grand de produire des coopérations qui obligent à regarder différemment les organisations. L'échange pourra se faire autour de la meilleure compréhension des divers choix techniques employés en fonction du contexte.

8.4.2 Conception et pilotage de la chaîne logistique

Description de la thématique

La gestion des flux logistiques est une activité en pleine expansion du fait de la redistribution des activités de production et de distribution à toutes les échelles : monde, continent, région ou local.

Si la logistique maritime a trouvé un outil de rationalisation puissant à travers la conteneurisation, qui a largement tiré le développement de cette filière, la logistique terrestre est restée en retrait aussi bien sur les plans physique, informationnel ou des processus.

- Les dimensions des outils logistiques ne sont pas modulaires et restent hétérogènes. La taille d'un conteneur maritime ne correspond pas à une remorque européenne ou nord américaine, pas plus qu'à la taille des wagons, des palettes, etc. Il en résulte des manutentions superflues et des pertes de capacité sur toute la chaîne.
- L'information est structurée par filière, voire par relation, et non pour la logistique, activité transversale par nature. Il en résulte des interfaçages aussi nombreux que complexes qui freinent les synergies possibles et les processus.

Il s'agit de migrer d'une logique de réseaux d'entreprises à une logique de réseaux de réseaux de services logistiques, assurant à plus grande échelle l'interopérabilité des organisations logistiques par une standardisation des éléments physiques (dimension, préhension,…), des protocoles de communication entre Systèmes d'Informations et objets communicants (technologies GPS, RFID, …) et les processus logistiques.

Intérêt socio-économique

L'efficacité des chaînes logistique est d'un intérêt majeur pour tout territoire que ce soit pour garantir ses propres approvisionnements ou que ce soit pour son attractivité vis-à-vis d'investisseurs potentiels. Cet intérêt est d'autant plus important qu'il existe encore des marges de progrès tout à fait significatives dans ce domaine. Les progrès réalisés pourront alors bénéficier aussi bien à l'amélioration de la compétitivité qu'au développement durable du fait de l'empreinte environnementale croissante des moyens employés.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'avènement des chaînes logistiques globales consolide de facto un foisonnement de supports et d'outil logistiques peu compatibles qu'il est nécessaire d'étudier afin de dégager des pistes de rationalisation et de standardisation. La compréhension des solutions actuelles et des besoins des acteurs est une étape préliminaire à leur rationalisation. Le foisonnement actuel et la compatibilité avec les investissements déjà consentis par les acteurs en matériel et infrastructure sont des verrous majeurs à l'évolution l'harmonisation des flux logistiques. Pour autant il existe des pistes :

- La conteneurisation maritime fournit un premier élément de structuration des flux logistiques qui pourrait maintenant être étendue et déclinée à la logistique terrestre et à différentes échelles d'envois depuis la ligne de production jusqu'au rayon du magasin ou au domicile du consommateur.
- La montée en puissance de l'Internet des objets est une opportunité remarquable pour structurer l'information logistique à partir des objets logistiques eux-mêmes à l'échelle mondiale favorisant ainsi une nouvelle efficacité.
- La remonté par l'Internet des Objets d'évènements affectant les processus logistiques (opération de transport, passage de responsabilité, traçabilité, etc.) sont autant de sources pour le développement d'une nouvelle génération de logiciels métier (gestion de parc de moyens, traçabilité contenant contenu, partage de la valeur,…).
- La standardisation des processus associés aux opérations de stockage, manutention, préparation et transport est à rechercher.
- L'interopérabilité des opérations logistiques permet de repenser le cadre des modèles de stockage (réparti vs centralisé par exemple) et d'implantation des unités et des schémas logistiques.

8.4.3 Organisation géographique multiéchelles des entreprises

Description de la thématique

Dans certains secteurs, « Produire au plus près des marchés » est une tendance lourde, liée à de nombreux facteurs : droits de douane, chrono-compétition, difficulté du pilotage de la chaîne logistique amont compte tenu de l'inertie liée aux délais d'approvisionnement d'unités lointaines… Mais l'importance des contraintes de volume dans la production de masse de produits fortement diversifiés peut conduire à l'évolution inverse. Cette présence à de multiples échelles a de profondes répercussions organisationnelles sur les maisons-mères (organisation du contrôle, transformation des produits pour les adapter au marché, utilisation de techniques diverses, changement des compétences nécessaires dans la maison-mère etc...).

Intérêt socio-économique

Cette proximité par rapport aux marchés permet de pénétrer des marchés jusque là inaccessibles. Elle permet de repenser l'organisation de la production en tirant parti des savoirs-faires spécifiques de chacun des établissements (organisation matricielle), de faire éventuellement des économies d'échelle, de repenser le rôle des divers établissements de par le monde en tâchant de garder la maîtrise sur les fonctions génératrices de plus value ou nécessitant de grandes compétences.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La production au plus près des marchés peut être réalisée dans des entités appartenant à un réseau international. Dans ce cadre se pose notamment la question de savoir si ce contexte ne risque pas d'être un frein à l'économie circulaire (ressources consommées, réparation/recyclage…), l'entité contrôlant le réseau pouvant ne pas y avoir intérêt. Les décisions de choix des organisations géographiques multiéchelles sont donc complexes.

Une première approche serait de faire des études de cas approfondis pour comprendre les situations en croisant les regards : partir de la maison-mère et aller voir la déclinaison des stratégies dans plusieurs pays, à plusieurs échelles. La comparaison peut aussi se faire entre plusieurs filières ou secteurs productifs. Ces études de cas extensives sont en effet trop rares. Il pourra être très intéressant de notamment monter une comparaison France/Allemagne pour saisir les différences d'action, notamment des acteurs publics qui accompagnent ces mouvements.

Les résultats de cette approche seront certainement utiles pour le développement d'outils mathématiques d'aide à la décision permettant d'outiller les arbitrages entre les organisations alternatives.

8.4.4 Produire des petites quantités avec rentabilité économique

Description de la thématique

Produire au plus des marchés permet de fournir des produits en adéquation aux besoins locaux, mais ces besoins locaux sont par nature faibles en volume. La demande toujours plus forte de personnalisation des produits a également cette exigence de production de petites quantités de produits donnés. De plus, il faut proposer des solutions variées et personnalisées répondant à l'objectif global produit-service.

Mais classiquement la rentabilité économique d'un système de production repose souvent sur la possibilité de produire de gros volumes. C'est le cas des systèmes de production fortement demandeurs en énergie mais aussi des secteurs très automatisés où les investissements en machines nécessitent des volumes importants. On a vu apparaître ces dernières années la notion de mass customization où il s'agit de résoudre le conflit entre la production de forts volumes et la demande de personnalisation des clients. Nous pensons qu'il faut aller plus loin et savoir produire de façon économique et contrôlée des petites quantités.

Intérêt socio-économique

Savoir produire de petites quantités permettra donc de développer une production adaptée aux demandes personnalisées aux marchés locaux, et est donc un facteur de succès évident.

Produire au plus près des marchés locaux peut permettre de minimiser les coûts des circuits de distribution. Produire au plus près des clients pour les industries BtoB présente un enjeu de durabilité lorsqu'il s'agit de minimiser l'impact des transports en bilan énergétique global ou de sécurité du transport de produits, chimiques par exemple. Cette production locale pourra s'appuyer sur des procédés intensifs et automatisés, ainsi que sur les matières issues de la re-transformation des produits consommés et récupérés localement et sera donc un atout pour les entreprises qui ont de plus en plus de mal à s'approvisionner en matière et en énergie. La production locale devra être fiable et nécessitant peu d'intervention par une maintenance limitée et un contrôle à distance des performances.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La prise en compte de cette nécessité de savoir produire des petites quantités au niveau des systèmes de production comme des marchés constitue un défi à la fois technologique, logistique ou économique, qui doit être traité d'une façon intégrée et cohérente.

Ces nouveaux systèmes de production doivent répondre à des objectifs de large variété de produits, de modularité de la capacité de production, de viabilité économique de l'approche. Ils doivent permettre la montée en cadence rapide depuis le test de marché jusqu'à l'industrialisation. La configuration des produits, leur conception, le passage de l'idée du client au produit réalisé, les processus de fabrication sont directement impactés par cette approche entièrement innovante. Ils doivent permettre d'améliorer l'analyse cycle de vie globale d'un produit (du berceau à la tombe) afin d'avoir une acceptation réussie tant au niveau économique que sociétale.

Savoir produire de petites quantités conduit à de nouveaux paradigmes de la fabrication en micro-séries de produits différenciés à la demande soit au sein de micro-usines soit directement chez le client (imprimantes 3D – production déconcentrée…). Les nouvelles technologies d'information et de communication sont largement mobilisées pour assurer la réactivité, les échanges d'informations, le pilotage en temps réel. Les équipements (mécaniques, interfaces mécanique et électroniques, capteurs, systèmes de transports, commande, réseaux de communication, interfaces homme-machine..) ainsi que les technologies intensifiées sont à développer de façon à répondre à ces objectifs. Des modèles génériques de systèmes de production intégrant le client (capabilités de fabrication, flux de produits, systèmes d'information, modèles multi-vues) et permettant la simulation sont également à développer.

8.4.5 Logistique en circuits bouclés

Description de la thématique

La production au plus près des besoins du consommateur et de manière respectueuse de l'environnement est une des manières à la fois de revitaliser des territoires tout en allant dans le sens d'un développement durable. Cependant cette proximité génère des flux morcelés et unidirectionnels à même de remettre en cause le caractère vertueux du système promu. Il s'agit donc d'adresser la multitude des besoins spécifiques des consommateurs par des ensembles de producteurs souvent de taille réduite. Faute d'une consolidation adéquate le gain de la proximité est perdu face à des systèmes logistiques de masse qui tirent leur efficacité des volumes permettant des gains d'échelle. De plus, l'absence de consolidation des flux de proximité conduit à une offre de produits elle-même parcellisée qui réduit d'autant son attractivité à une consommation de niche, ce qui en retour limite l'intérêt de ce type de production.

Intérêt socio-économique

Une des manières d'aboutir à un développement plus durable est de réduire l'intensité logistique de nos approvisionnements en nous appuyant sur les filières courtes. Ces filières, à condition de répondre aux besoins des consommateurs, ont le potentiel à la fois de réduire l'empreinte logistique par leur proximité géographique mais également de dynamiser les territoires en tirant profit de leur diversité. Cette meilleure valorisation conduirait à une meilleure utilisation des territoires et constituerait une alternative à l'extension de l'urbanisation.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Le développement de la logistique en circuits bouclés pose de nombreuses questions scientifiques à la pointe des modèles d'optimisation mais aussi de la théorie des jeux ou du comportement. On retiendra ici celles relatives à la conception de ces réseaux logistiques couplant des flux hétérogènes, à la collaboration entre acteurs et à la prise de décisions distribuées.

- La recherche d'efficacité logistique repose sur la mutualisation de flux de logistiques aussi bien directs que de retour. L'optimisation de tels réseaux partagés entre chargeurs et opérant des flux hétérogènes conduit à des problèmes nouveaux de localisation des installations et d'affectation des flux.
- La coordination des acteurs pour aboutir à des solutions partagées efficaces nécessite la mise en place de mécanismes d'incitation ou de rétribution assurant l'attractivité des solutions proposée et leur pérennité.
- Enfin la coordination des acteurs par un acteur central pouvant limiter à la fois l'existence et la généralisation de telles organisations des mécanismes incitatifs de type *mechanism design* à même de favoriser l'émergence des systèmes souhaités sont également à étudier.

8.4.6 Localisation des compétences

Description de la thématique

Produire au plus près du marché amène à relocaliser les compétences dont les industriels pourraient avoir besoin. Cette localisation des compétences se définit comme la présence sur un territoire de savoir et de savoir-faire permettant la production sur un marché identifié et situé géographiquement. La localisation des compétences sur un marché conduit donc à une territorialisation des connaissances et des savoir-faire pouvant conduire à deux problématiques :

- L'hyperspécialisation des compétences sur un territoire peut conduire à appauvrir le développement de compétences sur un autre territoire. Les mobilités imposées pour les salariés de trouver un emploi en lien avec la formation initiale peuvent représenter un coût dans la gestion des relations entre la sphère professionnelle et la sphère privée.
- Les compétences spécialisées sur un marché pourraient amener certains salariés à une charge accrue de travail car difficilement remplaçable et détenant une expertise que n'ont pas d'autres professionnels.

Intérêt socio-économique

La disponibilité de compétences pourra permettre aux entreprises d'être plus réactives dans les politiques de recrutement pour répondre aux besoins d'emploi par rapport à un marché donné. Les compétences pourront davantage se développer dans une interaction entre les besoins du marché et les exigences de production. Les niches de savoir et de savoir-faire sur des territoires pourraient être sources de motivation pour le salarié qui pourra exercer un emploi en adéquation avec ses compétences de métier. La contrepartie est à situer dans les difficultés que pourraient rencontrer des salariés dont les compétences ou connaissances deviennent obsolètes. Comment garder un niveau d'expertise tout au long de la vie professionnelle ?

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Afin d'éviter les risques de mobilité, de santé, d'hyperspécialisation lié à la localisation des compétences, il serait nécessaire de faire des recherches sur la manière d'améliorer les programmes de formation en fonction de connaissances sur l'évolution des besoins sur les marchés locaux. Comment les organismes de formation et les entreprises travaillent-ils ensemble à la création de contenu de formation pour répondre à une production locale ? Est-il possible d'anticiper dans l'organisation du travail les besoins réels (en effectif, en parcours professionnel spécifique, etc.) pour répondre aux besoins du marché ? Comment éviter des risques de surcharge de travail ou de dépendance aux collègues de certains professionnels très spécialisés sur un territoire ? Comment éviter les risques d'obsolescence des compétences hyper-spécialisées de personnes quand les besoins du marché sur un territoire évoluent rapidement ?

La connaissance du contexte local par rapport aux besoins de compétences des populations au travail est donc essentielle.

Une autre piste de recherche serait d'explorer en quoi la localisation des compétences favorise le travail en réseau et en partenariat de plusieurs entreprises qui pourraient disposer d'une mutualisation de compétences. Cela pourrait participer à la construction de forme d'organisation servicielle.

8.5 Produire de façon éco-efficiente

8.5.1 Réduction de l'intensité énergétique et matière des systèmes productifs

Description de la thématique

L'objectif est ici de favoriser la création d'écosystèmes industriels où sont optimisés à l'échelle locale la production et la consommation d'énergie, la consommation et les flux de matières premières ou secondaires. Pour une efficacité maximale, l'ensemble des échelles doit être pris en compte, en partant des opérations unitaires et des composants (réacteur, four, échangeur, sécheur, moteur...), jusqu'au site industriel en passant par le procédé global et l'usine. A toutes ces échelles, l'intégration énergétique et la sobriété en énergie et en matières premières doit être recherchée. Un axe tout particulièrement pertinent est la récupération et/ou la transformation des chaleurs fatales. A l'instar des écosystèmes naturels, l'ambition est que chacune des unités soit optimisée en symbiose avec les autres unités et ceci à toutes les échelles.

Intérêt socio-économique

La compétitivité des sites industriels pourra être accrue par la diminution des coûts de fabrication (facture énergétique et matières premières) mais plus largement les actions entreprises permettront l'ouverture (ou le gain) de nouveaux marchés dans le domaine de l'efficacité énergétique (produits technologiques, informatiques voire services), ce qui pourrait et même devrait conduire à la création de nouvelles filières. De tels sites pourraient

apparaître comme un attracteur pour un néo-développement industriel éco-responsable. De plus cette démarche devraient conduire à de nouveaux métiers de l'énergie (expert « pinch analysis », marché énergie,…).

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'amélioration de l'efficacité en énergie et matière des sites industriels passe par une meilleure connaissance des phénomènes physiques et chimiques mis en œuvre dans les composants et/ou les procédés, par leur modélisation à la fois en stabilisé et en dynamique, par la recherche de voies en rupture... Cela passe aussi par un meilleur pilotage des installations ce qui implique le développement de capteurs, d'actuateurs et de logiciels ou de systèmes de contrôle/commande fiables et à coûts réduits, introduisant par exemple de l'intelligence logiciel dans la conduite des réacteurs chimiques Il s'agit aussi de minimiser les pertes thermiques et matières ou, à défaut, de les valoriser par réutilisation directe ou après transformation (chaleur en électricité ou en énergie mécanique par exemple, sous-produits d'une usine en matières premières d'une autre, etc…). Par ailleurs, il convient de déployer le plus largement possible les méthodes d'intégration énergétique pour la conception/reconception de procédés (analyse exergétique, méthode du pincement...) et ce à l'échelle des procédés, des usines, des sites industriels, mais aussi du territoire. Il est pour cela nécessaire de mieux connaître les flux de matière et d'énergie à ces différentes échelles, de les modéliser pour les optimiser (i.e.. projet Plateform(E)3 issu de l'Alliance ANCRE). La mutualisation de la production d'utilités (vapeur / chaleur, air comprimé, H2, groupes froid, ...), à l'échelle d'une usine ou d'un site industriel est aussi une voie de progrès important. Ceci implique aussi la conception et la mise en place de réseaux et de lieux de stockage de matière et d'énergie.

8.5.2 Eco-conception

Description de la thématique

Le calcul du coût de production d'un produit réutilisable (équipement domestique par exemple) est largement conventionnel. Il en est de même du coût d'utilisation de ce produit et de son démantèlement. Selon le périmètre spatio-temporel retenu, la consommation de ressources (matière, énergie,…) n'est pas la même. L'usage classique du bilan actualisé dans la prise de décision de lancement d'un produit nouveau doit être élargi et la cohérence entre décisions doit être mieux assurée tant au niveau de l'entreprise que de celui de l'utilisateur du produit. Dans ce contexte, l'éco-conception, la chaîne logistique verte … sont des approches à mobiliser dans une perspective économique élargie complétant les approches plus classiques de conception modulaire, d'analyse des coûts engagés sur le cycle de vie du produit et de Conception à Coût Objectif (CCO).

Intérêt socio-économique

Une meilleure analyse de ce problème de « production au plus juste » est nécessaire pour éviter de biaiser la comparaison d'alternatives fondées sur des critères économiques. La différence de points de vue exprimés par des critères (à préciser) retenus par les producteurs

d'un équipement et leurs usagers s'estompe si l'on passe de la logique de possession de ce bien à celle de l'acquisition des prestations qu'il procure. Cette tendance observée dans de nombreux secteurs a un impact sur la conception, le dimensionnement, la mise à disposition et la maintenance du « parc » de cet équipement, à périmètre identique de services rendus. Elle permet d'économiser les matières premières et l'énergie, d'optimiser les processus, différencier les produits, réduire les risques liés au nom respect de la réglementation et à la non-conformité, pénétrer de nouveaux marchés mais aussi stimuler l'innovation.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Du point de vue de l'entreprise le calcul du coût est la somme d'une quote-part de dépenses des bureaux d'études (BE) et de méthodes (BM) liées à la mise au point du produit, d'une quote-part de dépenses d'acquisition et de maintenance d'équipements de production « au sens large », de coûts directs de composants achetés ou produits (reposant alors sur des conventions similaires), de coûts logistique et d'une quote-part de charges de structure. La durée du cycle de vie du produit (et de ses composants produits) et celle d'utilisation des équipements mobilisés ont un fort impact sur le résultat. Ne s'attacher qu'au coût variable direct des matières est possible mais trop réducteur. Deux approches sont préconisées :

(1) L'usage d'une conception modulaire permet de baisser le coût d'un produit par la diminution des dépenses de BE et BM, et celle d'équipements mieux utilisés, mais aussi par l'augmentation du volume de modules produits et partagés par les produits finis. La réparabilité du produit, facilitée par la modularité, conditionne la durée d'utilisation potentielle du produit, tant que celui-ci ne subit pas d'obsolescence commerciale conduisant au déclassement subjectif d'un produit continuant à rendre les prestations attendues. La conception retenue pour le produit peut ou non permettre une réparation locale. Ce double élargissement de perspectives (producteur et utilisateur), conditionnant le périmètre de la vision ressources, pose de très nombreux problèmes méthodologiques mal résolus dans la prise en compte du temps (actualisation, comptabilité de gestion, chaînes de remplacement, CCO…) retenue pour évaluer les décisions.

(2) Le développement de méthodes d'évaluation environnementales du profil du produit, de sa naissance à sa fin de vie, en répondant aux contraintes de complexité des approches actuelles, des coûts d'investissement élevés, de manque d'expérience/références/pratiques et de manque de soutien technique. Le développement d'outil d'aide à la décision en fonctions des résultats ACV (Analyse du Cycle de Vie) sur l'ensemble de la chaîne constitue alors un verrou essentiel auquel nous devons répondre. Il sera ainsi possible de concevoir un produit afin d'optimiser sa première vie (maintenance incluse) et de préparer ses vies futures tout en prenant en compte la durabilité (faible impact environnemental matière et énergie, fiabilité économique, acceptation sociétale) tout au long des cycles de vie et de l'organisation associée.

8.5.3 Conception de systèmes de production de recyclage performants

Description de la thématique

La conception de systèmes de production de recyclage performants soulève de nombreux problèmes d'optimisation et de gestion. Tout d'abord, il est nécessaire de définir les critères de performance adaptés au contexte du recyclage en analysant les indicateurs environnementaux, énergétiques, économiques et sociétaux. Puis, il convient de définir la méthodologie de conception de tels systèmes en partant de l'étude des processus et procédés à mettre en place afin de récupérer les composants et matériaux/produits qui pourront être réutilisés ou recyclés et en passant par la définition et l'affectation des ressources (opérateurs humains et équipements). Ceci doit être fait en tenant compte des états possibles des produits en fin de vie, dont la qualité et la quantité (gisement de matières premières secondaires) peuvent varier de façon importante, des contraintes technologiques, économiques, environnementales et sociétales, mais également des aléas liés au processus de désassemblage et/ou des procédés de réutilisation ou recyclage qui concernent tant ces nouvelles matières que l'énergie.

Intérêt socio-économique

Le traitement de produits en fin de vie présente des enjeux économiques (marché de seconde main, récupération des métaux précieux) et environnementaux (recyclage des batteries usagées, des circuits électroniques et des coques plastiques, valorisation de « déchets » tels les machefers d'incinération pour la production d'hydrogène ou le captage du CO_2, etc .) évidents. Un enjeu social est également présent, car le traitement des appareils usagés fait souvent appel aux associations de réinsertion professionnelle.

Cette thématique concerne également les industries intermédiaires de production (ex : chimie, bio raffinerie, etc…) où le recyclage de la matière et de l'énergie présente un enjeu important pour la compétitivité des installations sur le territoire national. L'objectif dans ce cas est de développer des technologies de séparation des produits recyclables ou réutilisables comme l'eau, les métaux (terres rares), des catalyseurs, des molécules à forte valeur ajoutée mais aussi de concentrer et récupérer les produits présentant un risque environnemental ou sécurité.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les problèmes de conception de systèmes de recyclage sont des problèmes d'optimisation très récemment introduits dans la littérature. Par conséquent, la formulation connue à l'heure actuelle reste très simpliste et ne répond malheureusement pas à l'actualité industrielle. Entre autres, elle ne tient pas compte des particularités du processus de désassemblage et des aléas qui lui sont associés. Ainsi une formulation plus précise et détaillée est nécessaire. Cette nouvelle formulation suscitera tout naturellement le développement des outils de l'optimisation combinatoire adaptés pour sa résolution efficace, car les modèles académiques existants et les outils classiques utilisés dans la littérature s'avèrent inappropriés. Ces modèles et méthodes d'optimisation devront être suffisamment robuste pour tenir compte

d'un niveau d'incertitude élevé lié à la quantité, la composition (variabilité spatio-temporelle importante) et l'état des produits usagés ainsi que des risques posés par les composants polluants et dangereux contenus dans des produits en fin de vie. Il faudra également être capable d'adapter les procédés de production aux spécificités de ces nouvelles matières premières secondaires.

Un point important à maîtriser dans ces processus de recyclage et valorisation concerne le bilan global en énergie, matières et risques associés : le recyclage doit permettre d'améliorer l'analyse du cycle de vie d'un produit et/ou la compétitivité d'une filière de production. Des méthodes d'évaluation devront être partagées (et normées) pour permettre un choix efficace et chiffrée des solutions proposées.

8.5.4 Les modes d'action publique et de partenariat pour favoriser l'économie circulaire

Description de la thématique

L'action publique peut contribuer directement au développement d'une économie circulaire en favorisant la mise en place d'infrastructures sociales, juridiques et techniques nécessaires à son organisation. L'action publique peut aussi contribuer au développement d'une offre s'inscrivant dans une logique d'économie circulaire par la puissance économique d'achat et d'investissement qu'elle représente.

L'un des principaux leviers à la disposition de l'action publique porte sur les systèmes de régulation qui peuvent ou non inciter et favoriser le développement d'une organisation productive qui intègre les exigences du recyclage et de la durabilité dès la conception et faciliter l'insertion des acteurs économiques dans des réseaux et des éco systèmes, locaux ou globaux. Le mode d'organisation en pôles de compétitivité a contribué à l'émergence d'une action économique publique locale rénovée pouvant se rapprocher de la logique de l'économie circulaire. Les limites de ces pôles viennent d'un manque de compréhension de cette logique.

Enfin, l'action publique, surtout au niveau local ou régional, fera face à de nécessaires réformes internes, notamment dans les systèmes consulaires, pour favoriser les logiques partenariales. Trop souvent les structures publiques et para publiques opèrent en concurrence et non en réseau pour intervenir vers les entreprises. Elles contribuent alors à isoler les acteurs plutôt qu'à stimuler les partenariats de tous ordres (sur les enjeux de recherche, transport, formation, logement etc) entre les entités constitutives de l'économie circulaire et nécessaire à l'innovation.

Pour l'action publique, l'économie circulaire appelle des modes d'intervention rénovés consistant moins à intervenir qu'à réguler et surtout à faciliter les rencontres et les relations dans une logique de médiation entre les acteurs économiques.

Intérêt socio-économique

Une action publique visant le développement de l'économie circulaire pourrait avoir plusieurs effets :

- contribution à la résilience des systèmes techniques et sociaux locaux
- faciliter l'émergence de nouveaux systèmes d'offre
- amélioration significative de l'organisation de l'action publique
- Identifier les instruments d'une politique de soutenabilité circulaire

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Trois pistes de recherche peuvent être proposées :

- d'une part, développer les recherches en droit économique sur les conditions de régulation qui peuvent favoriser l'émergence d'une économie circulaire ou au contraire entraîner ses blocages ;
- d'autre part, analyser des conditions fiscales d'élaboration des coûts adaptés à une économie circulaire. Le mode d'élaboration des comptes financiers et de fiscalisation des activités des entreprises isole les entreprises alors que dans une économie circulaire elles ne sont que des unités de chaîne globale de valeur ;
- enfin, développer des modes de gouvernance économique et de management public compatibles avec le développement de l'économie circulaire. A titre d'exemple, une analyse approfondie de l'efficacité des formes actuelles d'accompagnement des entreprises par l'Etat et les collectivités publiques serait nécessaire afin d'être en mesure d'orienter les politiques d'accompagnement des mutations industrielles vers le développement de l'économie circulaire.

8.6 Produire en assurant sécurité et santé au travail

8.6.1 Santé et sécurité au travail

Description de la thématique

La prise en compte des risques, tant professionnels (santé-sécurité des salariés au travail) qu'industriels ou technologiques (sécurité du process de production) est aujourd'hui une des dimensions incontournables des systèmes de production dans divers secteurs industriels. Elle répond en effet à une demande sociétale de plus en plus forte et diverses régulations ont été mises en œuvre au niveau national et international pour tenter de contrôler les risques engendrés par les systèmes de production : directives Machines, ATEX, Seveso, Reach, etc. Cette dimension réglementaire, qui va en se renforçant, a non seulement des répercussions techniques (nouveaux systèmes de protection, produits de substitution, automatisation, port d'équipements spécifiques...) mais également organisationnelles : création de nouvelles fonctions (HQSE), montée en compétences des organismes représentatifs, évolution du rôle des régulateurs, intégration de la société civile dans les Plans de Prévention des Risques Technologies (PPRT), modification des politiques publiques etc..

Intérêt socio-économique

Les accidents du travail et les maladies professionnelles se traduisent chaque année par la perte d'environ 45 millions de journées de travail. Par ailleurs, la France compte plus de 500

000 installations industrielles soumises à déclaration, pour lesquelles la question du risque industriel est un élément clé.

La prévention des risques professionnels et industriels a bien évidemment un coût mais c'est aussi un investissement qui conditionne en partie les succès futurs d'une entreprise. En effet, investir dans la sécurité c'est également améliorer les conditions de travail, la fiabilité des systèmes de production, la qualité des produits, la protection de l'environnement. Les entreprises savent également qu'elles jouent leur notoriété, leur image autour de ces questions.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'amélioration de la sécurité des systèmes de production passe nécessairement par des travaux de recherche visant à réduire les réduire les risques à la source (procédés et produits intrinsèquement sûrs), à développer de nouveaux systèmes de protections, de nouvelles interfaces homme-machine etc. *(cf. thématiques liées aux nouvelles technologies et systèmes de production intelligents)*.

Ces développements ne doivent cependant pas être dissociés de la prise en compte des facteurs humains et de la diversité des contraintes auxquelles est soumis le personnel en charge de ses systèmes de production. Il s'agira notamment d'étudier l'influence des facteurs liés à l'utilisation des NTIC (équilibre vie professionnelle-vie privée, surcharge d'informations, etc.), à l'organisation du travail (réorganisations, fermetures, fusions, réductions d'effectifs, externalisation, changement de site), à certaines catégories de travailleurs (seniors, migrants, travailleurs précaires, etc.) aux relations interpersonnelles au travail, aux perspectives d'évolution, etc. Ils doivent s'accompagner d'une meilleure prise en compte des modes organisationnels et de leurs impacts sur la sécurité. Cette dimension d'analyse, jusque-là négligée, est pourtant essentielle comme le démontre l'analyse des grands accidents technologiques des dernières décennies.

Par ailleurs, dans un contexte mondialisé avec des pays où les règlementations en termes de sécurité sont moins exigeantes, les industriels sont souvent partagés entre le maintien de leur compétitivité et les investissements nécessaires pour assurer la sécurité de leurs personnels et de leurs installations. Cependant, ici comme ailleurs, l'atteinte à la santé ou à la sécurité des personnels ou des personnes vivant à proximité de l'entreprise met à mal l'acceptabilité de ces industries par la population. Relever le niveau global de sécurité devient dès lors un enjeu important pour l'industrie.

Enfin, pour développer une véritable culture de la sécurité dans les entreprises de toutes tailles, il sera nécessaire de proposer une approche globale couvrant tout le spectre de la sécurité depuis les risques professionnels jusqu'aux risques technologiques et mettant en œuvre des collaborations entre des partenaires de nature (du type industriel - centre technique par exemple) et de cultures différentes (sciences humaines – ingénierie).

8.6.2 Précarité/vulnérabilité de certaines populations

Description de la thématique

Si l'origine sociale et géographique reste le premier déterminant du déficit de ressources dont les individus ont besoin pour vivre, les systèmes économiques et les fonctionnements institutionnels, plus directement la mondialisation, renforcent les risques d'exposition à la précarité. Celle-ci peut être définie comme un ensemble de difficultés, insurmontables sans soutien externe, d'accès à l'éducation et à l'emploi en tant que garantie d'autonomie. L'omniprésence de la précarité génère d'ailleurs un sentiment général de fragilité intériorisé, particulièrement en France, tant par les étudiants que par les salariés. Cette inquiétude, croissante avec la fréquence et la durée des crises, ne concerne pas qu'une minorité de catégories sociales. La menace des "réversibilités désaffiliatives" obère massivement la capacité à se projeter dans l'avenir et constitue en cela un frein à la créativité et à l'innovation, éléments moteurs du développement. Pour certaines populations plus exposées que d'autres, la prévention de la vulnérabilité s'impose alors comme une priorité pour lutter contre les inégalités.

Intérêt socio-économique

Cette prévention vise à stopper l'accentuation de la coupure entre une main-d'œuvre qualifiée et sécurisée (dans les segments emblématiques de la production et de la décision) et une main-d'œuvre précarisée et paupérisée (dans des services où les conditions de travail sont dégradantes). Cette dichotomie produit de l'exclusion, exige plus « efforts de solidarité de moins en moins tolérés et privant la société de potentiels plus diversifiés et plus contributifs. Pour ne pas rester marginale et difficilement opposable aux lobbyings d'une croissance insouciante des dégâts qu'elle génère, la recherche d'alternatives nécessite de prendre en compte les différentes temporalités et éviter la fabrication des inégalités.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La recherche est invitée aujourd'hui à produire des pistes conduisant à dépasser les approches segmentées par publics (jeunes, femmes, seniors, handicapés...) qui se sont longtemps cantonnées à des politiques de rattrapage devant atténuer les effets des discriminations. Les travaux ayant servi d'appui à la thématique de la sécurisation des parcours ont toutefois attiré l'attention sur le principe d'anticipation davantage caractéristique des politiques éducatives que des politiques de l'emploi tributaires de la conjoncture. La difficulté à conjuguer ces deux axes sur des temporalités longues repose sur des facteurs divers comme :

- les étapes hésitantes du processus de décentralisation qui ne répartit que partiellement et épisodiquement les responsabilités liées à la formation et à l'emploi entre l'Etat, ses services déconcentrés et les collectivités,
- les politiques de recrutement des entreprises qui n'agissent qu'assez peu en amont sur les conditions de travail des postes à pourvoir notamment aux premiers niveaux de qualification,

- les cloisonnements qui n'épargnent pas l'organisation de la recherche et des études publiques dans le champ de la formation, de l'emploi et du travail.

Au besoin de raisonner sur des temporalités longues, s'ajoute celui de rétablir de la cohérence autour des objets de négociations. Les partenaires sociaux ont dépensé beaucoup d'énergie à la préparation d'accords (pénibilité, RPS, égalité, seniors...) qui peuvent avoir eu un effet de dispersion. Leur mobilisation embryonnaire autour de la "qualité de vie au travail" représente une opportunité pour la recherche et les interventions en entreprises. Maintenant que les origines et conséquences des maux du travail sont connues, il s'agit de revenir aux conditions d'épanouissement dont le travail est porteur. Ce renversement de tendance nécessite de prendre au sérieux les discours et les pratiques autour du développement durable. En termes d'investigations, cela demande de prendre des dispositions méthodologiques permettant de traiter la question de « déni des risques professionnels et de leur impact dans les organisations » au sein des entreprises et de s'intéresser aux aspirations des individus, tant à l'école qu'au travail, que représente le développement durable. Les formes individuelles et collectives d'engagement, le souci de vivre son travail en se déliant des rapports de concurrence entre salariés constituent des sujets d'étude trop enfouis aujourd'hui pour opposer la justice sociale à la production de la précarité. Des sujets de recherche sur le maintien dans l'emploi de populations déjà fragilisés dans leur santé seront à compléter avec des études sur la construction de ressources pour lutter contre la vulnérabilité de certaines populations au travail.

8.6.3 Sureté des installations

Description de la thématique

Relever les défis du développement durable implique d'innover. Or ces innovations ne seront acceptées que si elles ne comportent pas elles même de risques. Des technologies porteuses de progrès ont pu par le passé être rejetées par le public car elles étaient perçues comme étant trop risquée. La connaissance, le plus en amont possible, des dangers potentiels d'une innovation présente un enjeu fort.

De la même manière, les exigences sur la sécurité des installations et leur impact environnemental ne pourront que croitre dans les années à venir. Cette pression peut être réglementaire ou sociétale. La préservation sur le territoire national des systèmes productifs implique donc un effort de recherche pour une amélioration continue de la sécurité.

Le comportement de substances nouvelles (nanomatériaux par exemple) ou de procédés innovants ne sont pas encore parfaitement connus. De même, certaines propriétés ou certains effets pourraient être mieux maitrisés (par exemple en toxicologie : perturbateurs endocrinien et effet cocktail). La recherche porte également sur la maitrise des risques à l'échelle d'une installation ou d'un territoire, en particulier en ce qui concerne la résilience des organisations et les facteurs humains et organisationnels.

Intérêt socio-économique

Identifier puis maitriser les dangers et impacts environnementaux potentiellement engendrés par une innovation contribue à la compétitivité d'une entreprise. En s'engageant dans cette démarche, elle réduit le risque de non acceptation de ses innovations par la société, qui peut être un frein à l'innovation. C'est également un moyen de se démarquer de ses concurrents en anticipant les référentiels normatifs et réglementaires et en participant à l'élaboration de ceux-ci.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'effort de recherche porte sur la connaissance et la maitrise des risques des technologies émergentes ou en fort développement (nanotechnologies, nouvelles technologies de batteries, nouveaux usages de l'hydrogène,…). Il porte également sur l'amélioration de la sécurité des installations industrielles (comportement en cas de catastrophe naturelle de grande ampleur, effets dominos, résilience des organisations, facteur humain et organisationnel, maitrise de la sous traitance, signaux faibles…).

Les verrous scientifiques à lever concernent la connaissance des propriétés des matériaux innovants, la maitrise de nouveaux procédés (bio raffineries par exemple) et l'évaluation des organisations, notamment en situation de crise.

L'information du public et le partage de l'information avec la société civile sur les risques émergents, ainsi que la participation de la société dans les choix d'innovation technique est une condition de réussite.

8.7 Concevoir des fonctionnalités plus que des produits

8.7.1 Revisiter la modularité

Description de la thématique

La modularité est au cœur de la production de masse de produits diversifiés. Elle s'inscrit dans la continuité du mouvement de la standardisation et se fonde sur l'interchangeabilité de composants substituables assurant une fonction (à la différence de composants de base). Elle implique la définition d'interfaces standardisées, garantissant l'interchangeabilité et mène à la définition d'une plateforme-produit permettant la production d'un flux de produits diversifiés (par combinatoire). Sa relation (complémentarité vs substitution) avec la différenciation retardée n'est pas toujours claire, en particulier dans une perspective de moyen ou long terme. La conception modulaire cherche à « encadrer » la conception des plateformes et surtout celle des modules. La détermination d'un ensemble de modules alternatifs et de leurs caractéristiques propres est, généralement, traité de manière très empirique et considérée comme une « entrée » de la conception modulaire. L'optimisation des caractéristiques de cet ensemble, dans une perspective économique sur le moyen et long terme, est un axe négligé d'amélioration de la performance. L'impact économique de la modularité sur la capacité et la flexibilité d'une ligne d'assemblage, n'est généralement pas bien évalué, de même que ses

répercussions le long de la chaîne logistique – amont (capacité, passage possible à un approvisionnement pour stock…). Enfin, la standardisation des interfaces est loin d'être bien assurée : des composants de jonction s'avèrent souvent indispensables pour « lier » des modules alternatifs appartenant à des ensembles différents ; ceci a pour effet de rendre très difficile la définition du Plan Directeur de Production au-delà de l'horizon gelé, compliquant de manière très importante le pilotage d'une partie de la chaîne logistique.

Intérêt socio-économique

On considère, généralement, que l'amélioration de la performance d'une chaîne logistique (CL) passe essentiellement par des modifications de la conception des systèmes productifs et logistiques qu'elle mobilise et celle de ses règles de pilotage. La stratégie de conception des produits (modularité…) jouent un rôle insuffisamment compris sur la capacité, l'efficience et la flexibilité des systèmes productifs et sur la complexité du pilotage de la CL. Une meilleure évaluation économique de ces incidences est de nature à améliorer la stratégie industrielle des entreprises et de modifier le périmètre géographique impacté par ces décisions.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'intérêt scientifique de ce thème est implicite dans ce qui précède. La difficulté de cette voie de recherche est qu'elle se situe au croisement du marketing qui anticipe les besoins du marché, du bureau d'étude qui doit répondre aux attentes du marché et à ses évolutions en proposant une programmation de renouvellement de gammes de produits impliquant la création ou l'adaptation d'un ensemble cohérent de plateformes et d'ensembles de modules alternatifs et la création ou la réutilisation de composants spécifiques. L'impact de ses décisions sur l'aval (bureau des méthodes, adaptation du système productif, production, vente et après-vente + remanufacturing/recyclage le cas échéant) oblige non seulement à une collaboration entre ces fonctions mais aussi à mettre au point des instrumentations (cf. *modular design*, conception des standards pour les interfaces) conciliant des temporalités fort différentes et qui sont susceptibles à la fois de remettre en cause des logiques décisionnelles locales et certaines approches et instrumentations « traditionnelles », représentant des innovations organisationnelles et technologiques imbriquées remettant en question les relations fabricants / sous-traitants.

8.7.2 Economie de fonctionnalité

Description de la thématique

La conception de solutions technologiques est fondamentalement une activité créatrice permettant de répondre à des besoins clients. L'économie de fonctionnalité vise à proposer des solutions qui intègrent une offre de service supportée par des produits, permettant de satisfaire ces besoins plutôt que la seule fourniture d'un bien matériel. Ainsi la captation de la valeur est assurée par la fourniture d'un service ou la mise à disposition d'une solution intégrée plutôt que la vente seule d'un bien matériel. Ce changement de mode de captation

de la valeur nécessite en particulier de repenser totalement le modèle économique associé à la nouvelle offre de solution.

Intérêt socio-économique

Les principaux intérêts du changement du mode de captation de la valeur d'un bien matériel vers une solution intégrée produit-service est d'élargir les étapes du cycle de vie sur lesquelles la dite solution à une incidence importante et donc sur lesquelles la valeur peut être captée. En effet la fourniture de la solution intégrée rend le fournisseur responsable de la totalité du cycle de vie des biens matériels nécessaires pour obtenir la solution. Ces solutions permettent donc, par cet élargissement, de se placer dans une situation gagnant-gagnant dans la mesure où le client obtient une solution qui correspond mieux à son besoin et où le fournisseur a la possibilité de mieux gérer le cycle de vie des biens matériels nécessaires. Il pourra ainsi se donner des moyens d'action sur chaque phase du cycle de vie et, de ce fait, adresser plus facilement des problématiques liées au développement durable.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La conception de ces offres de solutions nécessite que les acteurs changent les paradigmes habituels en initiant leurs réflexions dans l'espace fonctionnel et non dans l'espace des solutions technologiques afin de pouvoir capter la valeur créée ailleurs que lors de la vente d'un bien matériel. Ce changement de paradigme commence donc par la nécessité de repenser et/ou reconcevoir le modèle économique pour capter la valeur ailleurs dans la chaine. Ainsi pour aider les entreprises à entreprendre cette démarche il faut pouvoir leur proposer des outils et/ou des méthodes leur permettant de concevoir de nouvelles offres en accord avec l'économie de fonctionnalité.

Plus spécifiquement, les pistes de recherche sont :

- le développement d'approches intégrées entre la conception du modèle économique, des services et des produits associés.

- l'intégration élargie des phases du cycle de vie du produit lors de la conception de l'offre.

- la prise en compte des nouveaux modes de consommation dans les modèles économiques.

8.7.3 Ingénierie de Système

Description de la thématique

L'Ingénierie Système, par ses fondements systémiques aussi bien que par la standardisation de ses processus 'métiers' à l'échelon international, est citée de façon récurrente comme une technologie-clé en regard de la vision holistique du cycle de vie d'un système que requiert la maitrise multidimensionnelle d'interactions techniques mais aussi sociétales et environnementales. Il semble que les efforts visionnaires de pratiquants peu nombreux portent maintenant leurs fruits pour asseoir la R&D française dans ce domaine. Cependant, d'autres efforts importants, notamment en formation, doivent être rapidement entrepris si l'on veut substituer, à la vision « linéaire » classique de la définition, du développement, du

déploiement et du démantèlement d'un système, la vision « circulaire » qu'exigent la prise en compte de dimensions sociétales et environnementales au-delà de la seule dimension technologique. Au corpus traditionnel de l'Ingénierie Système, efficient dès lors qu'il s'agit de prescrire une solution dans un contexte lui-même prescrit, doit se substituer celui à outiller d'une Ingénierie de Système de Systèmes pour maitriser la complexité de faire interopérer pour une valeur ajoutée conjoncturelle des systèmes artificiels aussi bien que des systèmes naturels ayant leurs propres dynamiques et finalités, dans un contexte au mieux résilient à ce qui n'est pas prescriptible à priori.

Intérêt socio-économique

La maîtrise des systèmes complexes par les industriels est indispensable au maintien et à l'amélioration des positions de l'industrie française et européenne sur le marché mondial des grands systèmes (transports, espace, finances, santé, énergie ...), avec un effet d'entrainement sur les PMI/PME/TPE fournisseurs de technologies à différents facteurs d'échelles du système à faire. Cependant, la prise en compte des facteurs multidimensionnels techniques, sociétaux, et environnementaux pour analyser le cycle de vie d'une chaîne potentielle de valeur ajoutée ne procède plus d'une approche « réductionniste » d'ingénierie compliante aux standards pour chacun des acteurs, mais, au moins pour certains donneurs d'ordre, d'une approche « systémique » qui reste à outiller à ce niveau de complexité.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'intérêt scientifique est d'autant plus important qu'il est attractif d'un point environnemental et sociétal pour les jeunes générations et tout à fait innovant d'un point de vue technique.

Le changement de paradigme d'un développement technologique « durable » est finalement admis mais sa mise en œuvre exige de remettre en cause le paradigme existant, d'adapter son outillage dans un premier temps avant d'en inventer un nouveau. Ceci incluant d'autant plus l'éducation et la formation qu'un ingénieur de ce profil est encore un étudiant, voire un élève.

Pour passer des préceptes aux processus, il semble pragmatique aux pratiquants de l'approche systémique et de son ingénierie de s'appuyer sur le travail d'« ouverture multidisciplinaire » accompli pour appréhender ce nouveau paradigme. D'autant plus que cette communauté d'« ingénierie des interactions » s'est intéressée depuis une dizaine d'années aux propriétés que présentent certains « système de systèmes » et à leur impact sur le processus traditionnel d'ingénierie système.

La page étant quasi blanche, quelques pistes semblent cependant à explorer rapidement.

D'abord, outiller cette « ingénierie d'interdépendances » pour dépasser l'optimisation « réductionniste ». Ce n'est pas en développant un processus d'optimisation « locale » de plus qu'on changera de paradigme. Ceci dit, il faut proposer une ingénierie basée sur des modèles permettant de mesurer cette interdépendance entre objets de nature et finalités différentes. Ensuite, revenir aux fondements naturels (biologiques) de l'approche système en

appréhendant de façon multidisciplinaire la complexité tout en recherchant la « simplexité », en d'autres termes des représentations (patterns) intermédiaires outillant l'ingénieur à partir des Sciences des Systèmes.

L'ingénierie de SoS a fait un pas en ce sens, qu'il faut supporter par des programmes spécifiques, y compris en formation pour promouvoir la modélisation ensembliste par définition relationnelle et interactionnelle.

8.8 Inventer de nouveaux dispositifs de collaboration

8.8.1 Mobilité et communication dans les équipes et les chaînes de partenaires

Description de la thématique

La mobilité est le paradigme dominant de l'industrie du futur. La mobilité touche à la fois les capitaux, les hommes, les technologies, les matériaux, les produits, les investissements, les connaissances et les organisations productives elles-mêmes. Dans la lignée de Pierre Veltz on réaffirme par cette thématique la nécessité d'un ancrage fort dans le territoire d'origine pour organiser par ailleurs l'inscription dans la mondialisation. Les mobilités des organisations productives vont modifier les organisations du pays de départ. Les mobilités des personnels vont ré-agencer les carrières, les échanges techniques avec des marchés ou des producteurs autres vont nourrir les évolutions productives.

La mobilité est donc une thématique transversale forte que l'on peut retrouver dans divers enjeux et thématiques.

Intérêt socio-économique

La mobilité est un concept flou qui se présente souvent comme un enjeu incontournable pour les industries du futur, mais elle oblige à des 'déplacements' des modes d'organisation de la conception (pour exemple : anticipation des adaptations du produit au plus tôt dans la conception pour éviter les surcoûts etc..), de la production, du travail et du contrôle. On peut aussi penser au suivi des règlementations. La mobilité pourrait donc être un objet composite à appréhender de manière pluridisciplinaire afin d'envisager tout ce qui relève de cette dimension dans l'entreprise. Des études de cas pourraient ensuite déboucher vers des guides de bonnes pratiques indiquant les différentes dimensions à ne pas oublier et les embûches à éviter, notamment pour les PMI.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La mobilité est généralement appréhendée de manière disciplinaire. Cet objet flou a pourtant des composantes multiples : techniques, règlementaires, humaines, organisationnelles etc.. Les SHS ont travaillé cette thématique pour étudier la manière dont s'organisent les mobilités à l'international de divers types de personnels dans le cadre du travail, envisager les impacts organisationnels des mobilités d'entités productives sur la maison-mère (création de nouvelles fonctions dans l'entreprise, apprentissages linguistiques, échanges de nouvelles techniques de production en tenant compte de savoirs-faires locaux spécifiques qui

élargissent les modes de production, modalités du contrôle etc.), appréhender l'impact de ces mobilités sur les familles etc. Mais la mobilité peut aussi être appréhendée de manière pluridisciplinaire notamment autour de thématiques : telles que mobilité et sécurisation des données, modes organisationnels choisis pour faciliter tant la mobilité des données (via des supports numérisés de données propres à l'entreprise permettant la coopération à distance, via des configurations numériques d'ateliers 'virtuels' étendus) que des personnes. L'accent mis de manière pluridisciplinaire sur les modes de sécurisation des données permettra d'envisager non pas seulement les outils nécessaires, mais l'impact sur les mobilités, sur les relations de travail en interne et en externe.

Il conviendrait de faire des comparaisons au sein du tissu industriel selon la taille des organisations ainsi que selon les secteurs productifs, sans doute fort différents à cause de la mobilité différente des capitaux que cela sous-entend.

8.8.2 Travail à distance

Description de la thématique

Cette thématique s'attache à explorer les conséquences pour le travail du développement de chaînes logistiques mondialisées ou d'un renouvellement profond des formes de coordination de l'activité au sein et entre les entreprises. Le développement des technologies de l'information et des communications (TIC) est un moteur important des évolutions à venir puisque ces technologies offrent des possibilités de plus en plus étendues et peu coûteuses de travail à distance. Le travail à distance peut prendre plusieurs formes : travail à domicile, travail nomade, travail en télécentre, travail en centre d'appel. Qui seront les travailleurs à distance ? Quels métiers seront concernés ? En quoi le développement de ces formes de travail peut préserver certains gisements d'emploi nationaux ? En quoi le développement des formes de travail à distance peut contribuer à la compétitivité de l'industrie tout en atténuant l'impact social de la mondialisation et en générant des bénéfices environnementaux ?

Intérêt socio-économique

Le travail à distance appuyé sur les TIC rompt avec le modèle les schémas établis d'unité de temps et de lieu de l'activité productive. Ainsi, les TIC contribueraient à modifier ce qui caractérise, pour la grande majorité des salariés, la relation de travail et d'emploi : unicité du lieu d'exercice de l'activité professionnelle, durée et horaires de travail collectifs, collaborations et échanges avec les collègues, contrôle direct de la hiérarchie. L'exemple de l'organisation des centres d'appel montre néanmoins que la relation de service peut aussi s'exercer à distance dans un cadre organisationnel tout à fait taylorien. Comment tirer partie des nouvelles possibilités d'organisation du travail à distance ouvertes par les TIC sans affaiblir pour autant les synergies associées à l'échange au sein des collectifs de travail ?

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Le verrou principal de cette thématique est lié à un ensemble de freins qui entravent le développement des formes innovantes de travail à distance. Un frein important se situe dans

le souci pour les employeurs de maintenir le contrôle sur le travail. En France, le contrat de travail décrit un lien de subordination qui s'exerce dans un lieu donné. Dans les nouvelles structures en réseau qui accompagnent la mondialisation des chaînes de valeur, la question de qui a la responsabilité de la gestion du contrat de travail est récurrente. Ainsi les TIC sont largement utilisées par les employeurs pour renforcer le contrôle au moyen d'outils fins de suivi de l'activité. Un autre frein se situe du côté de la professionnalisation des emplois de relation de service à distance. Ces emplois nécessitent-ils des compétences spécifiques ? Où sont-elles acquises ? Comment sont-elles reconnues ? Quelles perspectives d'évolution ces emplois ouvrent-ils ? Comment pourraient-ils contribuer à renforcer l'efficacité du modèle industriel ?

8.9 Améliorer la responsabilité des entreprises

8.9.1 Outiller l'entreprise à la gouvernance

Description de la thématique

L'entreprise en tant que creuset de l'activité économique et de la création d'emplois a toujours contribué aux mutations sociales, économiques et politiques des Sociétés. Sa légitimité est dorénavant remise en cause en raison de pratiques qui privilégient plus le court terme et les seuls propriétaires actionnaires au détriment des Sociétés. A titre d'exemple, depuis près de 10 ans, les principaux groupes mondiaux ont dépensé plus dans le rachat de leurs actions et la distribution de dividendes que dans leurs dépenses de R&D. Il y a en conséquence une réduction de la capacité d'innovation globale. Par ailleurs, les citoyens considèrent de plus en plus les entreprises comme des sources de nuisances qui préemptent des ressources à leurs avantages au détriment de la Société et de leur environnement. Le développement d'activités de lobbying par les entreprises pour mieux asseoir la défense de leurs intérêts immédiats ne fait que renforcer ces sentiments de prudence au mieux, de défection, au pire, à leur endroit. Dans ces conditions, les Etats adoptent une tendance à légiférer dans l'urgence en imposant de nouvelles règles aux entreprises qui peuvent limiter leur compétitivité. D'autres comportements de la part des entreprises en s'ouvrant à une gouvernance démocratique avec la Société pourraient permettre de rouvrir les projets et les développements.

Intérêt socio-économique

Le développement d'une cohésion sociale dans et autour de l'entreprise en permettant d'accepter l'innovation et le changement peut faciliter le désir de voir se développer la création de nouvelles activités par les entreprises. De plus la participation des entreprises aux processus démocratiques peut limiter la résistance des consommateurs et des citoyens à leur égard à partir du moment où cette participation réinscrit les projets des entreprises dans des investissements à long terme et non plus seulement dans le court terme financier. Ces changements d'horizons et de pratiques peuvent contribuer à la re-création des systèmes productifs en prenant en compte les bénéfices des activités sur le plan intergénérationnel.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Le développement d'une gouvernance démocratique par les entreprises nécessitera de nouvelles formes d'organisation qu'il reste à étudier et à concevoir. Comme le nombre d'entreprises ouvertes à cette forme de gouvernance reste relativement limité, l'analyse doit être menée au niveau international.

Analyser la contribution de la gouvernance démocratique à l'innovation et à la performance à long terme des entreprises.

Le développement d'une gouvernance démocratique par l'entreprise nécessite d'approfondir les conditions du droit de l'entreprise, au-delà du seul droit des sociétés et du droit social, en intégrant toutes les dimensions de l'organisation productive.

Etude des stratégies d'implantation et territoriales des entreprises qui favorisent l'acceptation sociale des activités.

Analyser les conditions selon lesquelles le dialogue social peut être une source d'innovation pour concevoir de nouvelles formes productives et d'organisation. Symétriquement, analyser les conditions selon lesquelles le dialogue social s'avère bloquant et amène les entreprises à s'en méfier.

8.9.2 Faciliter le partage et le dialogue des éthiques des acteurs sur les méthodes et les changements

Description de la thématique

Avec l'avènement de l'ère industrielle, de plus en plus de sociétés humaines ont engendré un environnement façonné par la technique à tel point qu'aujourd'hui celle-ci concerne et conditionne jusqu'aux gestes les plus élémentaires de la vie quotidienne. La technoscience, initiée dans un environnement moral et éthique où l'être humain se vivait dépendant de la nature, a longtemps été associée à un impératif d'humanisme soucieux d'améliorer les conditions matérielles de la vie humaine mais, désormais omniprésente, l'activité technoscientifique tend à perdre aux yeux de la société toute entière le sens de sa mission première pour se voir attribuer un statut de valeur universelle. Ainsi, et graduellement, non plus considérée comme un outil au service du bien-être collectif, elle devient une fin en soi, un ordre positif nécessaire et indiscutable qui impose ses propres règles et indicateurs de performances. La technique, étant désormais essentiellement appliquée à l'amélioration de la compétitivité de l'entreprise dans un environnement socio-économique mondialisé soumis à une concurrence toujours plus sauvage, est devenue une arme au service du pouvoir économique. La contradiction entre progrès technique et progrès social apparaît chaque jour plus manifeste, les comportements moraux et éthiques des acteurs n'étant souvent plus liés clairement au respect de la vie et de la nature. Tandis que l'éthique médicale et l'éthique des affaires commencent à trouver leur place dans les parcours universitaires, l'éthique industrielle n'est pas encore reconnue en Europe comme une discipline.

Intérêt socio-économique

L'histoire de l'industrie et de la sociologie des techniques soulignent la responsabilité spécifique des chercheurs et ingénieurs à une époque où l'autonomie de la technoscience devient un souci pour l'environnement et la vie humaine, mais aussi semble-t-il quand a son impact sclérosant sur l'équilibre socio-économique. Différentes questions morales et éthiques se posent aux décideurs techniques et politiques : qui a le pouvoir d'imposer les fins dans notre société technoscientifique et comment veiller à ce que les moyens techniques ne deviennent pas des fins en soi ? Comment mesurer l'utilité sociale d'une technique en dépassant la simple évaluation de sa rentabilité économique ? Quelle peut être la contribution des sciences à l'élaboration des décisions techniques ? Comment favoriser et maîtriser les innovations par lesquelles notre société adapte ses moyens techniques à ses contraintes matérielles ? Comment dans un environnement économique mondialisé, ou de nombreuses sociétés aux cultures différentes se côtoient, former les acteurs du système productif à l'éthique pour en faire une force du système productif et une valeur ajoutée sociétale ?

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La formation scientifique et technique de l'ingénieur ou du chercheur est généralement devenue exempte de toute réflexion d'ordre moral et éthique, laissant les acteurs socio-économiques assurer ce rôle en créant des critères « techno-scientistes » en fonction de leurs propres intérêts économiques et, en second lieu, « sociaux » si ces derniers semblent cohérents avec les intérêts économiques. Les pistes de recherche dans le domaine du comportement éthique des acteurs peuvent se décliner suivant de nombreux axes et par un lien étroit entre sciences dites « dures » et « humaines ». Selon quelles exigences peut se constituer l'identité de l'ingénieur, du chercheur au sein des tissus sociaux économiques modernes ? Quels rapports les acteurs du tissu social et économique doivent-ils entretenir avec les différentes formes de pouvoir et quelles sont les limites du pouvoir technique ? En rapport avec l'idéologie marchande et les contraintes qu'elle impose, quels compromis le technicien peut-il accepter ? Dans ses relations parfois ambiguës avec la science fondamentale, comment envisager la fonction d'expert, notamment vis à vis de l'évaluation des risques, et selon quels critères peut-on évaluer l'objectivité scientifique ? Comment estimer la pertinence de l'innovation technique et selon quels moyens la société peut-elle maîtriser les processus qui la transforment ? Enfin, comment définir et mettre en œuvre des critères socio-économiques dans un monde où l'innovation technoscientifique reste la base de l'industrie, en intégrant des facteurs moraux et éthiques dans le respect de la nature et de la vie ?

8.10 Supporter l'innovation participative

8.10.1 Dynamique des échanges et des interfaces

Description de la thématique

En dépit de l'avance technologique de certaines entreprises, un nombre croissant d'inventions se fait en dehors de celles-ci, dans le monde entier. La présence des entreprises dans leur écosystème et dans des clusters innovants devient un enjeu majeur pour capter de nouvelles opportunités et participer à une innovation ouverte et collaborative. Cette ouverture permettrait d'exploiter de façon stratégique les sources d'idées permettant de soutenir leurs activités d'innovation.

Il s'agit d'un mode d'innovation basé sur la collaboration, les échanges réciproques selon la loi de l'offre et de la demande et guidés par un cadre juridique. Dans un modèle avancé de co-création, des projets communs peuvent émerger sous la forme de plateformes pré-compétitives. Cependant les entreprises qui adoptent ce modèle d'innovation ouverte sont souvent confrontées à un certain nombre de difficultés, notamment en matière de propriété intellectuelle, d'organisation, de gestion du changement et de préservation de leur connaissance dans le temps.

Dans cette approche de collaboration ouverte et dynamique il est alors important de pourvoir configurer le contexte et les outils de travail en s'appuyant sur des interfaces d'échange flexibles pouvant traiter de l'organisation industrielle, des systèmes de production, des systèmes d'information…

Intérêt socio-économique

L'avènement de l'économie de la connaissance marque une reconfiguration continue du modèle économique des entreprises, où l'avantage concurrentiel n'est plus lié à la capacité productive mais à la capacité d'innovation. Dans ce nouvel environnement, la compétition entre entreprises est déterminée par leur capacité de collaboration ouverte avec leur écosystème et avec leurs communautés d'utilisateurs et leur capacité de préservation des connaissances sous-jacentes à leurs pratiques d'intelligence économique.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

En dehors des difficultés qui accompagnent la gestion de la propriété intellectuelle dans les modèles d'innovation ouverte, de nouveaux verrous sont à lever afin de limiter les coûts et faciliter les relations et les échanges entre partenaires parfois de taille différente du fait d'éventuelles relations de dépendance et asymétries de pouvoir (risque d'appropriation des droits de PI par les partenaires en position dominante). Les pistes de recherche suivantes sont à envisager :

- Analyse des nouveaux besoins des entreprises pour converger vers une forme acceptable d'ouverture (totale, hybride, etc).
- Analyse des approches et des outils supports à l' « open innovation » : « standard

libres», interopérabilité des processus organisationnels, etc.

- Dans le cas d'une convergence vers des « standards libres », il est important d'analyser les rôles, les droits et les devoirs des acteurs (depuis la définition jusqu'à la gestion du changement) ce qui aura pour conséquence d'améliorer les aspects de propriété intellectuelle.
- Evolution des modèles « open source » vers des modèles « hybrides ». La notion d'open source est en effet toujours relative à l'usage de la solution développée qui ne peut alors être que partiellement « ouverte ».
- Nouvelles approches et outils de préservation de la connaissance développée dans un cadre d'« open innovation ».
- Nouveaux systèmes d'information sous-jacents.

8.10.2 Travail collaboratif et en réseaux

Description de la thématique

La conception et la production de produit sont aujourd'hui réalisées dans un environnement international dans lequel toutes les organisations industrielles coexistent et sont en mutation permanente. La relation de co-traitance ou de sous-traitance, au sein de l'entreprise étendue ou du lien donneur d'ordres / sous-traitants, peut concerner indifféremment la phase d'ingénierie, d'industrialisation, de production jusqu'aux phases de démantèlement et de recyclage.

Le travail collaboratif et en réseaux reste alors incontournable afin de supporter les activités d'ingénierie dans des modes synchrone, asynchrone de manière présentielle ou à distance. Le travail en réseau concerne celui de partenariat entre plusieurs entreprises de différentes tailles (ou groupes d'une multinationale) visant la production d'un bien ou d'un service. Il porte aussi sur les réseaux entreprise/recherche/enseignement visant l'amélioration de la conception et de la production. Le travail collectif concerne le travail de coopération ou collaboration entre plusieurs métiers ou fonctions, en proximité ou en distance, médiés par NTic, se réunissant lors de la réalisation de projet à court ou long terme.

Intérêt socio-économique

Dans un but de renforcer la compétitivité de l'industrie Française, de garder une avance durable dans la différenciation technologique, de recherche et innovation, tout en gardant l'ouverture internationale des marchés, il est nécessaire de trouver d'autre forme d'équilibre dans les collaborations afin de favoriser l'innovation technologique en profitant de réseaux de compétences collectifs.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

Les avancées scientifiques des prochaînes années devraient permettre de lever les limites des solutions actuelles relatives aux NTIC, aux espaces collaboratifs et à la mise en cluster des entreprises qui ne permettent pas réellement de suivre la dynamique des changements au sein des organisations industrielles. Le travail collectif est une ressource pour la performance

de l'entreprise à condition que les moyens technologiques et organisationnels puissent garantir des marges de manœuvre collectives. Celles-ci reposent sur le développement des ressources pour le collectif de travail et le travail collectif pour favoriser un travail en réseau.

Les pistes de recherche peuvent alors porter sur : l'ingénierie et l'apprentissage collectif, les lieux et les conditions organisationnelles du travail collectif en entreprise avec intégration de l'individu dans le collectif, les réseaux multimédia et la construction de langages communs, les politiques de rémunération et l'évolution des compétences de travail collectif, la sécurisation des parcours et de l'emploi, la construction de clusters de PME, de partenariats d'entreprise par rapport au marché et la concurrence.

8.10.3 Place de l'utilisateur dans la conception

Description de la thématique

L'intérêt de prendre en compte l'utilisateur dans la conception de produit ou de process est déjà ancien. Mais cela ne veut pas dire nécessairement que cela est réellement fait dans la conduite de projet de conception.

Dans l'objectif de développer l'innovation participative, la place de l'utilisateur est à nouveau posée comme un déterminant d'une innovation adaptée aux besoins de l'utilisateur (qu'il soit opérateur en fabrication ou client final). Plus précisément, on passe de la notion de conception adaptée à l'utilisateur à la notion de co-conception. Dans cette orientation, l'utilisateur n'est pas seulement présent à la phase de test du produit ou d'expérimentation sur prototype. Il est acteur aussi dans l'analyse de la situation et dans l'émission de solutions.

Intérêt socio-économique

En faisant participer de façon plus active et intégrée l'utilisateur aux phases de conception, on peut penser que l'innovation sera plus proche des besoins du marché et évitera un certain nombre d'erreurs de conception, coûteuses sur le plan économique.

Une réelle implication des consommateurs dans la conception des produits apporte de fait un intérêt avéré pour ces produits et une rationalité dans la prise en compte des capacités d'usage du produit.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

La conception de produit et l'innovation technique et organisationnelle qui intègreront davantage l'utilisateur permettront de concevoir en open innovation.

Le verrou scientifique est celui de la place donnée à la co-conception entre concepteurs et utilisateurs. Il sera important de développer des méthodes et des démarches favorisant une réelle participation de l'utilisateur aux différentes étapes de la conception. En effet, il ne s'agit pas seulement de demander à l'utilisateur son opinion et sa satisfaction produit, mais que l'utilisateur soit bien pour quelque chose dans la transformation des objets et des enjeux de développement produit-process. Ainsi il pourra davantage s'approprier les changements et intégrer sa sensibilité et ses exigences dès la phase de conception. A terme, il est important

de développer des modèles de réseaux d'information au service d'éco-systèmes de proximité reliant des moyens de conception ou de modification de produits avec des environnements mutualisés de fabrication par l'utilisateur lui-même.

Par ailleurs, la co-conception invite un rapprochement disciplinaire entre sciences de l'ingénieur et sciences humaines et sociales.

8.10.4 Nouveaux modes de recherche appliquée, "recherche innovation", recherche dans les PME

Description de la thématique

Développer l'innovation dans les entreprises est un axe stratégique identifié par les politiques publiques pour répondre à une situation de crise économique sans précédent pour nos sociétés. Ainsi, la création de marchés via l'introduction de nouveaux produits et/ou services, l'amélioration de l'efficacité productive des entreprises – petites ou grandes, l'intégration de nouvelles contraintes/opportunités sociétales et environnementale, sont les caractéristiques majeures des stratégies des entreprises industrielles qu'il convient de soutenir par le développement d'outils de management et de politique efficaces. Si les efforts des dernières décennies ont surtout porté sur la recherche fondamentale et le développement des technologies génériques (micro-nano technologie, biotechnologie, etc.) via une multitude d'instruments et de dispositifs institutionnels (grands programme cadre, incubateur, organisme de transfert, Cluster, etc.), force est de constater que la diffusion, l'acquisition et l'utilisation de ces avancées technologiques par la grande majorité des PME/PMI restent encore très problématiques (et cela même si la création de pôles de compétitivité représente une expérience intéressante).

Intérêt socio-économique

Compte tenu de l'importance que représentent les PME/PMI dans l'économie française, en termes d'emploi, d'ancrages territoriaux, de production de valeur, mais également des spécificités des activités innovantes de ces entreprises, il s'agit d'accroître les capacités de notre « économie de la connaissance » à transmettre - au sens de « transmettre un savoir » et non de « transférer des solutions » - les avancées technologiques les plus récentes. Cette transmission semble reposer sur le développement d'une recherche appliquée respectueuses des contraintes technico-économiques du tissu industriel et des filières productives.

Intérêt scientifique, verrous, pistes de recherche

L'intérêt scientifique se situe à trois niveaux : i) le développement de politiques efficaces de soutien à l'innovation tout au long des filières industrielles, ii) le développement de capacités d'absorption des recherches appliquées dans les PME/PMI, iii) la recherche de mécanismes de diffusion des technologies génériques dans les tissus industriels traditionnels. Les principales pistes de recherche qui peuvent émerger autour des enjeux de l'innovation dans les PME et de la recherche appliquée sont :

- la mise en œuvre d'interfaces efficaces entre offreurs de briques technologiques et PME/PMI, dans une approche de filières productives coordonnée
- la culture de l'innovation, allant de la veille technologique et de marchés à la gestion de la «génération d'innovation», en passant par de nouvelles formes de gestion des ressources humaines
- le financement, voir le cofinancement partenarial inter-entreprises, de la recherche appliquée et la gestion partagée des risques
- la gestion des signaux faibles et des informations, véritables vecteurs de la recherche appliquée.