



FORUM FRANCO-RUSSE

« GESTION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION COGNITIFS »

1 Pertinence

Dans une perspective proche, divers pays du monde seront confrontés au problème de la transition au sixième paradigme technologique, dont le cœur est la convergence des Nanotechnologies, Biotechnologies, Technologies de l'Information et sciences Cognitives (NBIC).

Les points suivants ont été notés dans le rapport de l'UNESCO sur la science [1] :

- Les engagements nationaux en matière de R&D diminuent dans de nombreux pays développés, malgré la prise de conscience de leur importance, tandis que de nombreux pays à revenus moyens et faibles intègrent les recherches scientifiques et techniques dans leurs programmes conceptuels de développement, en contribuant ainsi à des taux de croissance économique plus élevés que dans les pays de l'OCDE.
- Alors que la plupart des activités de R&D ont lieu dans des pays à revenu élevé, la mise en œuvre des innovations a lieu dans des pays à différents niveaux de revenus (parfois même sans aucune activité de recherches scientifiques et techniques). Il faut encourager non seulement les entreprises à la R&D, mais également les projets innovants qui ne concernent pas des recherches scientifiques, en particulier ceux dans le domaine de transfert de technologie.
- Pour la pleine utilisation des résultats positifs du développement économique axé sur les sciences et les innovations, il est nécessaire de réaliser un progrès simultané dans les domaines de l'éducation, des sciences fondamentales, du développement technologique, de la mise en œuvre de technologies durables, de la R&D dans le secteur des affaires et de l'environnement pour mettre au point une base économique.
- De nombreux pays sont confrontés à des dilemmes pour trouver un équilibre entre la participation locale et internationale aux recherches scientifiques, entre les recherches fondamentales et appliquées, entre la génération de nouvelles connaissances et la génération de connaissances demandées sur le marché, entre les sciences pour le bien public et les sciences comme moteur d'activités commerciales. La diplomatie internationale prend de plus en plus la forme de diplomatie scientifique.

La version mise à jour du diagramme d'innovation de Yamaguchi [2] montre que la coévolution des sciences et technologies donne naissance à un nouveau paradigme technologique et que l'évolution hiérarchique aboutit au développement économique, ce



qui relève l'importance de l'application des sciences à la production économique. Pourtant, presque toutes les théories du développement économique traitent les sciences comme un facteur exogène. Cependant, une véritable théorie du développement économique peut être élaborée par l'endogénéisation des acquis scientifiques. Les facteurs essentiels du développement économique sont les progrès dans les sciences et technologies, plutôt que le capital et le travail, qui sont au cœur des théories néoclassiques de la croissance économique.

L'économie du sixième paradigme technologique est orientée vers le capital humain, dont les objectifs principaux sont avant tout d'améliorer la qualité de la formation et de la vie de l'Homme [3].

Dans les paradigmes technologiques précédents, les facteurs clés étaient l'évolution de la productivité et la diminution du coût de revient des produits, ce qui a abouti à l'épuisement incontrôlé des ressources, à la pollution de l'environnement et à des crises cycliques de surproduction. Pour augmenter les ventes, un accent considérable a été mis sur la génération de nouveaux besoins, qu'ils soient utiles ou totalement inutiles, voire parfois nuisibles. Par conséquent, il est particulièrement important de se concentrer sur la formulation philosophique d'un nouveau paradigme qui tirerait et développerait au maximum la synergie des progrès scientifiques à impact négatif minimal sur l'Homme et la biosphère.

La crise mondiale ne peut être résolue selon les anciens modèles fondamentaux dans le paradigme du développement de notre civilisation. Les technologies modernes nécessitent une quantité d'énergie colossale, que l'énergie alternative existante n'est pas en mesure de produire. Nous avons besoin d'un saut qualitatif, d'une transition vers d'autres principes de production et de consommation d'énergie basés sur le modèle de la nature vivante, qui changeront l'aspect de toute la technosphère, à savoir les technologies NBIC convergentes inspirées de la nature et assurant le renouvellement naturel des ressources [4]. Cependant, dans le même temps, ces technologies génèrent des menaces mondiales pour la plupart nouvelles [5] :

- la double nature des technologies, les limites floues entre les usages civil et militaire et, par conséquent, l'inefficacité des moyens et technologies de contrôle existants ;
- l'impossibilité de prévoir toutes les conséquences de l'intégration de systèmes vivants artificiels dans l'environnement ;
- les nanobiotechnologies biogénétiques, permettant de produire des systèmes vivants artificiels avec propriétés demandées, qui peuvent être utilisées que ce soit pour faire des médicaments plus efficaces ou des moyens de destruction ;
- les technologies cognitives basées sur la convergence des sciences info-cognitives et socio-humanitaires et affectant la psychophysiologie de l'Homme afin de contrôler et gérer son esprit et son corps.

La convergence Nanotechnologies, Biotechnologies, Technologies de l'Information et sciences Cognitives (NBIC) dans les systèmes de production nécessite de nouvelles



approches dans la gestion des ressources humaines. L'impact d'une erreur dans chaque décision de tels systèmes est de plusieurs ordres et plus élevé que dans les systèmes traditionnels [6-8]. Il peut engendrer d'autres erreurs, qui, se propageant de manière exponentielle, peuvent aboutir à une catastrophe mondiale. Il est évident que le facteur humain est déterminant ici [9].

L'évolution technologique contribue à l'augmentation de la complexité structurelle et dynamique causée par l'hétérogénéité et le comportement imprévu des composants du système. À cet égard, l'interaction homme-machine et l'interaction homme-robot peuvent être considérées comme des sources de risque. Ces risques sont associés à de nouvelles variables technologiques et organisationnelles et à l'augmentation du nombre de sources de risques et du danger à la perméabilité externe. Les risques émergents évoluent vers des scénarios plus incertains en raison de la grande flexibilité des systèmes cyber-physiques, de la croissance de la complexité des tâches à effectuer, de la combinaison d'erreur humaine et celle d'intelligence artificielle. La fiabilité de tels dispositifs est plus difficile à prévoir à mesure que la complexité de ces systèmes évolue. La surveillance humaine des processus est assurée par le contrôle des systèmes au lieu d'un contrôle direct, ce qui peut engendrer une réduction des connaissances pratiques d'un processus et à une dépendance excessive aux systèmes de sécurité automatisés. Les risques psychosociaux et musculo-squelettiques sont associés à une faible activité physique, un stress mental élevé, une confidentialité réduite au travail et l'extension des problèmes dans la prise de décision. [10]

Il est nécessaire de trouver non seulement des outils pour contrôler, optimiser et développer les activités de production de l'Homme, mais aussi des mécanismes pour former et faire évoluer les visions culturelles et idéologiques et, par conséquent, de nouveaux sens et concepts permettant d'assurer le développement durable de l'humanité.

L'inévitabilité de la transformation NBIC de la production est évidente, mais il est nécessaire de comprendre quels mécanismes permettront d'effectuer cette transition le plus rapidement et en limitant les risques.

Pour intégrer le nouveau paradigme technologique, certains pays proposent des programmes dédiés : Factories of the Future (Union européenne) [11], Industrie 4.0 (Allemagne) [12], Industrie du futur (France) [13, 14], Advanced Manufacturing (États-Unis) [15], High Value Manufacturing (Royaume-Uni) [16], Production 2030 (Suède) [17], Made different (Belgique) [18], Innovation 25 (Japon) [19], Manufacturing innovation 3.0 (Corée du Sud) [20], Made in China 2025 (Chine) [21], Make in India (Inde) [22], Produktion der Zukunft (Autriche) [23], Fabbrica intelligente (Italie) [24], etc.

L'analyse de tels programmes a permis d'identifier les principales étapes nécessaires à la transformation des systèmes de production :

- personnalisation des produits, interaction avec le consommateur à toutes les étapes du cycle PLM ;
- modélisation des processus de production, mise au point de jumeaux numériques et de réalité virtuelle et augmentée, des technologies cognitives ;



- transition vers la production flexible orientée vers l'Homme, équipement de capteurs de contrôle de tous les processus ;
- formation ciblée de personnel ayant des connaissances interdisciplinaires dans le domaine des hautes technologies.

Selon Robert M., Giuliani Ph. et Gurau C. [25], le paradigme de l'Industrie 4.0 propose une nouvelle forme d'organisation de la production basée sur le contrôle direct de la formation de toute la chaîne de valeur ajoutée et implémentée via l'Internet des objets, BigData et les technologies en nuage intégrées dans la production cyber-physique. Dans la gestion de nouveaux systèmes, le problème des contraintes liées au facteur humain doit être abordé.

La technologie BigData permet de collecter, d'analyser et d'améliorer non seulement les processus de production, mais également le comportement humain. Dans le même temps, l'Industrie 4.0 effectue l'auto-optimisation en temps réel, alors qu'auparavant cela nécessitait des prévisions. Les conditions de travail changent et un nouvel environnement de travail se forme. L'Homme effectue non seulement la fonction de gestion des systèmes de production, mais il est par ailleurs un enseignant pour l'intelligence artificielle des machines. Toutes les actions humaines sont enregistrées et analysées, en formant une mémoire comportementale (base de connaissances).

La réalisation du principe de personnalisation des produits et d'interaction avec le consommateur à toutes les étapes du cycle PLM est possible grâce à la mise en œuvre de l'approche « Juste-à-temps » dont l'un des principes clés est [26] :

- La flexibilité de production, assurant une réponse rapide aux demandes d'approvisionnement et une réactivité dans le changement des paramètres des produits.
- Le niveau de qualité est déterminé par le client, qui élabore lui-même les critères d'évaluation du produit.
- Le gaspillage (tout ce qui ne représente pas la valeur ajoutée du produit) doit être exclu. La valeur est ce qui améliore l'utilisation du produit ou réduit le coût pour le client.

Ces principes nécessitent de nouvelles solutions technologiques. Si au XX^{ème} siècle la prédominance des technologies soustractives en génie mécanique a résolu le problème de l'augmentation des volumes de production, désormais le problème clé est la personnalisation des produits, qui est résolu à l'aide des technologies additifs et nanotechnologies, et du développement de nouveaux matériaux intelligents visant à réduire le cycle technologique. Cependant, pour que l'augmentation de la gamme ne diminue pas la qualité des produits, la technologie elle-même ne doit pas changer trop souvent et être bien rodée.

Pourtant, à l'heure actuelle, les technologies additives ne peuvent pas fournir de hautes productivités, c'est pourquoi des technologies hybrides sont proposées en combinant les avantages des solutions additives et soustractives [27].



Institut Franco-Russe
Université Polytechnique d'État du Sud de la Russie M. I. Platov
132, rue Prosvechtchenia, 346428 Novotcherkassk,
oblast de Rostov, Fédération de Russie
Tél. : +7 863 525 54 71
Courriel : sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



Le concept des nanotechnologies implique à la fois flexibilité et simplification des schémas technologiques en augmentant la productivité et l'attractivité commerciale de la production. Par exemple, l'Institut de recherches « Nanotechnologies et Nouveaux matériaux » de l'Université Polytechnique d'État du Sud de la Russie M. I. Platov a développé la nanotechnologie en deux étapes pour obtenir des fractions d'essence d'hydrocarbures, en résolvant le problème de l'épuisement des ressources pétrolières [28, 29]. À la première étape, on obtient, par la gazéification, le gaz de synthèse à partir de matières premières bon marché contenant du carbone. À la deuxième étape, on fait la synthèse combinée Fischer-Tropsch avec hydrocraquage. La productivité de la formation du produit cible est de 108 kg/(m³ cat h), ce qui est 10 fois supérieur aux indicateurs de performance des technologies traditionnelles [30]. Ici, les investissements dans le premier et le second cas seront approximativement les mêmes. L'avantage de l'innovation réside également dans l'obtention du produit absolument pur, c'est-à-dire sans impuretés et sans utilisation d'éléments chimiques nocifs dans le processus technologique. L'installation développée pour la mise en œuvre de la technologie proposée est flexible et universelle. Après des modifications minimales, elle peut être également utilisée pour obtenir la cérésine [31] et d'autres hydrocarbures. Ainsi, les performances technologiques atteintes (productivité, économie de ressources, respect de l'environnement, flexibilité) ont été obtenues exclusivement grâce à la composante scientifique innovante, à savoir, grâce au facteur capital humain, qui prouve l'importance de l'endogénéisation des acquis scientifiques et de la transition à la production orientée vers l'Homme.

En outre, l'objectif clé n'est pas seulement l'économie des ressources industrielles et le respect des principes d'une économie circulaire [32], mais aussi l'augmentation de la durée de vie d'un produit avec la possibilité de modifier et d'améliorer ses éléments, de le recycler complètement et de le transformer. Par conséquent, les informations sur l'état du produit, automatiquement accumulées grâce au concept IoT, doivent être reçues et traitées en production pour prendre les décisions appropriées (livraison des pièces détachées, reconditionnement des surfaces, amélioration de la fonctionnalité, modification de la géométrie, etc.). Ainsi, le cycle de production concerne tout le cycle PLM : le produit est fabriqué et modifié.

La modélisation des systèmes de production, des processus, la conception de jumeaux numériques, de la réalité virtuelle et augmentée, en règle générale, prend un temps assez important. Dans un environnement de production flexible et changeant, cela n'est pas acceptable. Certaines mesures sont déjà en cours de mise en œuvre pour résoudre ce problème, en développant notamment des outils pour lier des différents logiciels. L'éditeur de logiciels français Dassault Systèmes sur la plateforme en nuage intégrée 3DEXPERIENCE propose, par exemple, une technologie de simulation multiphysique qui comprend la simulation de structures, de fluides, d'acoustique, de processus électromagnétiques et de simulation multisolides dans un environnement entièrement intégré prenant en charge tous les processus industriels, y compris l'optimisation [33].

Il apparaît donc nécessaire de créer des modules multiphysiques les plus unifiés qui interagissent les uns avec les autres aux nano-, micro-, méso- et macroniveaux. Ainsi,



n'importe quel processus sera simulé dans les plus brefs délais. Néanmoins, la question de l'architecture de tels systèmes reste ouverte [34].

Quant aux algorithmes cognitifs de prise de décision, ils devraient être formés sur le principe des bases de connaissances existantes et des technologies d'apprentissage automatique. Ce dernier, qui est un système « boîte noire », est assez universel dans les situations complexes. L'inconvénient est qu'il est impossible de former une machine pour toutes les situations possibles. Pour cela il est nécessaire qu'elle génère elle-même des algorithmes. L'une des solutions possibles est la combinaison de l'apprentissage automatique et du modèle physique d'un processus technologique [35].

En général, le système humain-cyber-physique présenté est mis en œuvre dans l'environnement de la production numérique intelligente en réseau [36], dont le développement ultérieur dépend dans une plus large mesure d'une composante cognitive.

L'une des tâches importantes est la dématérialisation maximale des processus d'affaires [37], processus de production et composantes fonctionnelles des produits et services.

L'équipement de tous les processus par des capteurs de contrôle, la gestion à l'aide de jumeaux numériques [38] et les méthodes de contrôle non destructif deviendront les principales méthodes de contrôle du système de production. L'interopérabilité informatique doit être normalisée. Les politiques nationale et internationale joueront ici un rôle particulier afin que les coûts de mise en place et de maintenance de ces systèmes soient justifiés.

Dans le nouveau paradigme de production, l'acteur clé est l'Homme, qui crée, modifie, maintient le produit tout au long du cycle PLM. La formation ciblée de personnel, ayant des connaissances interdisciplinaires dans le domaine des hautes technologies, nécessite des ressources importantes et des approches complètement nouvelles dans la formation d'un expert. Développer des compétences créatives, innovantes et inventives qui dépassent les algorithmes cognitifs existants sera un défi qui ciblera la plupart des apprenants.

L'amélioration de la performance des systèmes de production cognitive peut être réalisée par :

- la résolution du problème de l'économie de ressources et des problèmes environnementaux en formant des systèmes qui assurent la génération et la transformation des produits tout au long du cycle PLM ;
- l'optimisation du concept et de la technologie de fabrication des produits par l'utilisation de l'ingénierie simultanée, combinant des algorithmes de conception et de solution technologique, tâches opérationnelles et celles d'utilisateurs (modification de produit) ;
- la génération et la transformation continues de produits directement liés aux besoins personnels des clients, grâce à l'intégration des technologies orientées vers l'Homme qui assurent une forte composante innovante ;



- la réduction du coût de revient des produits en réduisant le cycle technologique, la quantité d'équipements et outils utilisés, ainsi que le coût de leur maintenance ;
- la dématérialisation des produits et services.

La transition à la production flexible orientée vers l'Homme envisage non seulement un certain nombre de solutions techniques, mais nécessite aussi de repenser complètement les méthodes de production, d'organisation et d'interaction, ainsi que la conception et la mise au point de nouveaux systèmes de production. L'assurance des conditions écologiques et sécurisées confortables, l'utilisation des cobots ? et d'autres méthodes qui excluent le travail monotone, contribueront à la formation de nouveaux besoins chez l'Homme, y compris ceux dans la réalisation du potentiel professionnel.

Dans les systèmes et productions orientés vers l'Homme, il est nécessaire de garantir un haut niveau de confiance entre les personnes et de minimiser la probabilité de leur comportement opportuniste. Le processus de développement de la technologie NBIC est itératif. Le degré d'approximation de la technologie et du système de production à l'état optimal peut être caractérisé par le niveau de son entropie, et une diminution de l'indice d'entropie indique l'amélioration de la technologie et du système de production. [39]

La santé est une principale composante dans l'évolution et l'activité humaine efficace, ce qui est le but final de tout développement économique, technologique et social, à savoir assurer la santé permanente [40]. La santé humaine doit être considérée en liaison avec l'environnement, dont l'un des facteurs clés est la sécurité au travail. Le système, à l'aide de capteurs, permet d'identifier les cas quand l'Homme se trouve dans la zone de danger et/ou de signaler quelles opérations peuvent provoquer un accident. Ici, les problèmes liés à l'ergonomie, à l'optimisation de l'espace de travail, au contrôle du stress physique, informationnel et psychologique peuvent également être résolus.

L'utilisation de l'analytique ressources humaines (RH) basée sur les données accumulées grâce à la technologie BigData et de l'analytique prédictive mise en œuvre à l'aide de l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique, la modélisation, les méthodes d'optimisation et l'heuristique permet de résoudre les problèmes suivants [41] :

- gestion du capital humain (mesure de la performance du personnel, détermination de la configuration optimale de l'équipe en termes d'un ensemble de compétences et de connaissances) ;
- analytique RH (identification des facteurs de performance et leur contribution à la performance globale) ;
- prévision des scénarios alternatifs de personnel ;
- stratégie de génération du capital humain ;
- recrutement de personnel ;
- la formation continue et le développement professionnel (programme de formation individuel d'employés en dépendance de leur formation et de la nature de leur fonction ; détermination des avantages de l'investissement dans la formation) ;



- la productivité et les rémunérations (mise en place du système de gestion par les performances d'employés en fonction de leurs réalisations individuelles et des rémunérations pour les résultats cibles) ;
- l'implication et la motivation d'employés (mise au point de programmes de motivation pour soutenir l'implication du personnel, détermination des facteurs en fluctuation de personnel);
- analyse de réseau (identification et amélioration des liens entre les employés et/ou les équipes dans les organisations) ;
- analyse et prévision des opinions d'employés pour identifier les problèmes potentiels.

L'apprentissage automatique est une technologie d'intelligence artificielle qui permet aux machines d'apprendre puis de prendre des décisions sans intervention humaine en étudiant des modèles, en formant des liens logiques et fonctionnels à partir de données multidimensionnelles, des prédictions opérationnelles et comportementales.

Dans ce cas, par le biais de doubles liens itératifs, l'Homme agit en tant qu'enseignant, et une machine, en apprenant, corrige ses actions.

La prise de décision doit être complexe et à plusieurs niveaux, dont la mise en œuvre et la sécurité sont possibles grâce à la technologie blockchain.

La technologie blockchain distribue la prise de décision entre toutes les parties, qui ne peuvent pas être déformées ou inversées en raison de deux propriétés [42] :

- **Transparence** : les données sont réparties entre tous les nœuds du réseau, chacun a l'accès à l'intégralité de l'historique des transactions ou décisions qui ont été prises jusqu'à un certain moment. Toute nouvelle décision ou transaction prendra automatiquement en compte les décisions précédentes.
- **Incorruptible** : les données stockées sur la blockchain ne peuvent pas être modifiées, car les unités d'informations modifiées localement dans un bloc donné créeront une discordance entre la chaîne de blocs modifiée et tous les autres nœuds du réseau.

Ainsi, l'étude [42] propose un environnement intégré de prise de décision décentralisée, mis en œuvre à travers la blockchain à la manière de la distribution des données entre les cellules et de leur stockage dans l'ADN, modélisé sur la base de l'anatomie humaine et de divers phénomènes et processus naturels, tels que la prise de décision par les neurones humains, le caractère organisationnel de fractales naturelles, à l'instar des essaims d'abeilles et des colonies de fourmis.

Le système proposé garantit une prise de décision collective objective par des experts, dont le niveau de compétence est déterminé par l'historique de leurs activités, analysé à la fois par l'intelligence artificielle, qui exclut le facteur humain, et par l'Homme ayant une perception cognitive.



Institut Franco-Russe
Université Polytechnique d'État du Sud de la Russie M. I. Platov
132, rue Prosvechtchenia, 346428 Novotcherkassk,
oblast de Rostov, Fédération de Russie
Tél. : +7 863 525 54 71
Courriel : sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



Le concept de gestion des systèmes de production cognitifs orientés vers l'Homme présenté comporte tous les outils pour l'auto-développement itératif et l'auto-amélioration, en assurant des conditions de travail sécurisées et une surveillance constante de la santé humaine, ce qui permet de maximiser le rendement RH et réduire le niveau de comportement opportuniste.

Ce système est fermé, et a donc une certaine limite dans son développement. Pour passer à une nouvelle étape, l'Homme doit sortir du système pour former de nouveaux sens et concepts, ce qui est impossible sans composante humanitaire et culturelle, ainsi que sans interaction entre les pôles de recherche et production.

L'humanité s'approche au moment de la transition du paradigme mécaniste au paradigme holistique, du stade entropique au stade syntropique. À l'heure actuelle, la civilisation est au stade d'entropie, car elle est principalement orientée vers le profit. La transformation est associée à l'esprit humain, et l'esprit est principalement associé à la syntropie, à la création d'un nouveau paradigme et au dépassement de l'entropie, ce qui confirme la nécessité de former le vrai système de valeurs. Pour atteindre une croissance en spirale unique, il est nécessaire de briser la résistance de la valeur moyenne de l'équilibre actuel de la cognition et d'atteindre le point critique (de départ) de la croissance en spirale. [43] Ainsi, le modèle de développement en spirale est proposé, dont chaque tour sera un système auto-organisé.

2 But et objectifs

Le but du Forum « Gestion des systèmes de production cognitifs » est une consolidation scientifique, académique et internationale pour résoudre les objectifs suivants :

- la conception d'un nouveau paradigme économique qui assure une endogénéisation des acquis scientifiques et un développement durable en spirale, en se basant sur l'amélioration de la qualité de la formation et de la vie ;
- la formation des ingénieurs capables de penser de manière innovante et de résoudre les missions assignées, en tenant compte de la composante culturelle et humanitaire ;
- les questions éthiques, la cybersécurité, l'augmentation des exigences en matière de l'économie des ressources et de l'écologie, la correction des normes pour la charge physique des employés et la monotonie de leur travail, la formation de nouvelles normes de vie humaine ;
- la mise en commun des efforts pour améliorer les algorithmes des technologies cognitives de production.



3 Programme

Le programme du Forum comprend les 4 blocs suivants :

- Bloc académique : conférences publiques, séminaires, ateliers.
- Bloc scientifiques : discussions des recherches scientifiques.
- Bloc culturel et philosophique : interaction culturelle, historique, littéraire et philosophique afin de gérer des scénarios et visions du futur.
- Bloc international : conception des outils pour l'interaction franco-russe.

Références

1. UNESCO. "UNESCO Science Report: towards 2030." [Online]. Available: <https://en.unesco.org/USR-contents#:~:text=%C2%A9-,Contents,profiles%20of%2014%20of%20them>. [Accessed: 19-Sep-2020].
2. K. Suenaga, "The emergence of technological paradigms: The case of heat engines," *Technology in Society*, no. 57, pp. 135–141, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.12.010>.
3. A.A. Gorbunov, Krupenya A.P., "Technological patterns – foundations for the development of scientific and technical progress," *Noosphere education in the Eurasian space*, no. 9, pp. 467-478, 2019.
4. Kovalchuk, M.V., Naraikin, O.S. & Yatsishina, E.B. (2019). Nature-like technologies: new opportunities and new challenges. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 89 (5), 455-465. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>
5. Kovalchuk, M.V. & Naraikin, O.S. (2016). Nature-like technologies - new opportunities and new threats. *Safety index*, 22 (3-4), 118-119.
6. Som, C. & Hilty, L. M. (2007). Qualitative risk assessment for converging technologies: nano-bio-info-cogno technologies. *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007*, 1178-1181.
7. Royackers, L., Timmer, J., Kool, L. & Van Est, R. (2018). Societal and ethical issues of digitization. *Ethics and Information Technology*, 20, 127–142. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9452-x>
8. Angelopoulou, A., Mykoniatis, K. & Boyapati, N. R. (2020). Industry 4.0: The use of simulation for human reliability assessment. *Procedia Manufacturing*, 42, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.094>
9. Kolbachev E., Kolbacheva T. (2019). Human Factor and Working Out of NBIC Technologies. *AHFE 2018: Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*, 793, 179-190. http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-319-94196-7_17
10. Brocal, F., González, C., Komljenovic, D., Katina, P. F. & Sebastián, M. A. (2019). Emerging Risk Management in Industry 4.0: An Approach to Improve Organizational and Human Performance in the Complex Systems. *Complexity*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2019/2089763>
11. European Commission. "The Factories of the Future." [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/factories-future>. [Accessed: 19-Sep-2020].
12. European Commission. "Germany: Industrie 4.0." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
13. Alliance Industrie du Futur. [Online]. Available: <http://www.industrie-dufutur.org>. [Accessed: 19-Sep-2020].
14. N. Julien, É. Martin, *L'usine du futur – Stratégies et déploiement : Industrie 4.0, de l'IoT aux jumeaux numériques*. Paris, France: DUNOD, 2018.
15. The U.S. Department of Energy. "A national strategic plan for advanced manufacturing." [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/nstc_feb2012.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
16. European Commission. "United Kingdom: HVM Catapult." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_HVM%20Catapult%20v1.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].



Institut Franco-Russe
Université Polytechnique d'État du Sud de la Russie M. I. Platov
132, rue Prosvechtchenia, 346428 Novotcherkassk,
oblast de Rostov, Fédération de Russie
Tél. : +7 863 525 54 71
Courriel : sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



17. Produktion2030: Strategic innovation programme for sustainable production in Sweden. [Online]. Available: <https://produktion2030.se>. [Accessed: 19-Sep-2020].
18. Made different. [Online]. Available: <https://www.madedifferent.be>. [Accessed: 19-Sep-2020].
19. Prime Minister of Japan and His Cabinet. "Long-term Strategic Guidelines "Innovation 25"." [Online]. Available: https://japan.kantei.go.jp/innovation/innovation_final.pdf. [Accessed: 19-Sep-2020].
20. H.S. Kang, J.Y. Lee, S. Choi, H. Kim, J.H. Park, J.Y. Son, B.H. Kim, S.D. Noh, "Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, no. 3, 2016, doi: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>.
21. Mercator Institute for China Studies. "Made in China 2025." [Online]. Available: <https://merics.org/sites/default/files/2020-04/Made%20in%20China%202025.pdf>. [Accessed: 19-Sep-2020].
22. Make in India. [Online]. Available: <https://www.makeinindia.com>. [Accessed: 19-Sep-2020].
23. Produktion der Zukunft. [Online]. Available: <https://produktionderzukunft.at>. [Accessed: 19-Sep-2020].
24. Fabbrica intelligente. [Online]. Available: <https://www.fabbricaintelligente.it>. [Accessed: 19-Sep-2020].
25. Robert, M., Giuliani, Ph. & Gurau, C. (2020). Implementing industry 4.0 real-time performance management systems: the case of Schneider Electric. *Production Planning & Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810761>
26. F. Blondel, *Aide-mémoire Gestion industrielle*. Paris, France: DUNOD, 2006.
27. S.T. Newman, Z. Zhu, V. Dhokia, A. Shokrani, "Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, no. 64, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.109>.
28. R.E. Yakovenko, A.P. Savost'yanov, G.B. Narochnyi, V.N. Soromotin, I.N. Zubkov, O.P. Papeta, R. Svetogorov, S.A. Mitchenko, "Preliminary evaluation of a commercially viable Co-based hybrid catalyst system in Fischer-Tropsch synthesis combined with hydroprocessing," *Catalysis Science & Technology*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1039/D0CY00975J>.
29. A.P. Savostyanov, R.E. Yakovenko, G.B. Narochny, E.V. Nepomnyashchikh, S.A. Mitchenko, "Bifunctional Co/SiO₂-Fe-ZSM-5-Al₂O₃ catalysts for synthesis of hydrocarbons of engine fractions," *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, vol. 62, no. 8, 2019, doi: <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196208.5905>.
30. J.H. Crowell, H.E. Benson, J.H. Field, H.H. Storch, "Pilot plants. Fischer-Tropsch Oil Circulation Processes," *Ind. Eng. Chem.*, 42, 2376, 1950, doi: <https://doi.org/10.1021/ie50491a051>.
31. A.P. Savost'yanov, R.E. Yakovenko, G.B. Narochnyi, S.I. Sulima, V.G. Bakun, V.N. Soromotin, S.A. Mitchenko, "Unexpected increase in C₅ + selectivity at temperature rise in high pressure Fischer-Tropsch synthesis over Co-Al₂O₃/SiO₂ catalyst," *Catalysis Communications*, no. 99, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2017.05.021>.
32. E. Kristoffersena, F. Blomsma, P. Mikalefa, J. Lia, "The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies," *Journal of Business Research*, no. 120, pp. 241-261, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>.
33. Dassault Systèmes. "Simulation multiphysique technologie de simulation physique complète de pointe, intégrée et gérée sur la plate-forme 3DEXPERIENCE." [Online]. Available: <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/simulia/disciplines/multiphysics-simulation/>. [Accessed: 19-Sep-2020].
34. D. D'Amico, J. Ekoyuncu, S. Addepalli, C. Smith, E. Keedwell, J. Sibson and S. Penver, "Conceptual framework of a digital twin to evaluate the degradation status of complex engineering systems," *Procedia CIRP*, vol. 86, pp. 61-67, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.043>.
35. T. Bikhmukhametov, J. Jäschke, "Combining machine learning and process engineering physics towards enhanced accuracy and explainability of data-driven models," *Computers and Chemical Engineering*, no. 138, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106834>.
36. J. Zhou, P. Li, Y. Zhou, B. Wang, J. Zang, L. Meng, "Toward New-Generation Intelligent Manufacturing," *Engineering*, vol. 4, no. 1, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.01.002>.
37. L. Ávila, L. Teixeira, P. Almeida, "A Methodological Approach to Dematerialization of Business Processes Using Open-Source Technology," *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, no. 3, 2018, doi: <http://doi.org/10.24867/IJIE-2018-3-121>.
38. M. Glatta, C. Sinnwella, L. Yia, S. Donohoe, B. Ravanib, J. C. Auricha, "Modeling and implementation of a digital twin of material flows based on physics simulation," *Journal of Manufacturing Systems*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.015>.
39. E. B. Kolbachev, "Scientific and methodological foundations for the design of organizational structures and production processes based on NBIC-convergence," *Vestnik SRSTU (NPI)*, no. 5, 2017.



Institut Franco-Russe
Université Polytechnique d'État du Sud de la Russie M. I. Platov
132, rue Prosvechtchenia, 346428 Novotcherkassk,
oblast de Rostov, Fédération de Russie
Tél. : +7 863 525 54 71
Courriel : sidorova_ev@npi-tu.ru
<https://www.institutfrancorusse.org>



40. Maksimović, M., Vujović, V. & Perišić, B. (2016). Do It Yourself solution of Internet of Things Healthcare System: Measuring body parameters and environmental parameters affecting health. *Journal of Information Systems Engineering & Management*, 1 (1), 25-39. <https://doi.org/10.20897/lectito.201607>
41. Nocker, M. & Sena, V. (2019). Big Data and Human Resources Management: The Rise of Talent Analytics. *Social Sciences*, 8(10), 273. <https://doi.org/10.3390/socsci8100273>
42. Tapus N. & Manolache M. A. (2019). Integrated Decision Making using the Blockchain. *Procedia Computer Science*, 162, 587-595. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.027>
43. Mikulášková, J., Čambál, M., Polakovič, L. & Urbanovičová, P. (2020). Spiral Management: New Concept of the Social Systems Management. *Networked Business Models in the Circular Economy*, 174-199. <https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.131>
44. Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., & Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.04.018>
45. ISO 26000 : Responsabilité sociétale. [Online]. Available: <https://www.iso.org/fr/iso-26000-social-responsibility.html>. [Accessed: 07-Feb-2021].