

MARTIN
HUBERT
BLANC

Éco-conception d'une Smart Factory

Peut-on s'inspirer de la nature
pour concevoir les usines
intelligentes de demain ?

Martin HUBERT

CESI Arras - 5^{ème} année

FISE Informatique

06 88 28 23 04

martin.hubert@viacesi.fr

SOMMAIRE



1. Industrie française
2. La Nature nous inspire
3. Principes pour une industrie durable

4. *Use case: l'Industrie 4.0 au service du vivant*
5. Compléments
6. Conclusion

INDUSTRIE FRANÇAISE

ESSENTIELLE

L'industrie est nécessaire à notre civilisation et à son évolution. La France étant une puissance industrielle depuis le XIXe siècle, elle a connu la succession des révolutions industrielles, et se prépare désormais à la quatrième. Ce secteur occupe une place centrale dans le tissu économique français de par les millions d'emplois qu'elle crée, le taux de produits industriels dans l'exportation, et son soutien inégalé envers l'effort d'innovation.

INDUSTRIE4.0

Face à cette quatrième révolution industrielle, les industriels français devront rester compétitifs par rapport aux autres pays. Et ce, en poursuivant l'effort de numérisation, désormais soutenu par le gouvernement avec ses "34 plans Nouvelle France industrielle".

De plus, en réponse à l'explosion démographique, elle devra se renouveler pour créer toujours plus d'emplois.

CRISES À VENIR

Face au constat de la crise écologique, il est difficile de nier la participation de l'industrie aux externalités négatives des activités humaines. En effet, l'industrie représente à elle-seule un tiers des émissions de carbone et la moitié de la consommation électrique mondiale.

L'industrie doit donc prendre en compte les enjeux environnementaux et sociaux afin d'assurer la résilience de nos systèmes économiques face aux diverses crises à venir.

EN DÉCLIN

Depuis quelques décennies, l'industrie française décline, notamment depuis la délocalisation massive dans les années 1980. Sa compétitivité diminue, une des raisons étant la spécialisation dans le milieu de gamme, qui peine de plus en plus à convaincre (face au low-cost et au haut de gamme).

De plus, la crise sanitaire nous a montré les limites de notre modèle globalisé, à flux tendus. En effet, nous réalisons aujourd'hui qu'il est nécessaire de conserver une partie des moyens de production sur le territoire, afin de diminuer notre dépendance aux autres États et entreprises étrangères.

DOUBLE TRANSITION

L'industrie en France va donc connaître de profondes transformations au cours des prochaines années, afin de pouvoir efficacement mettre en œuvre une double transition : celle numérique et sociale d'une part, énergétique et écologique d'autre part.

LA NATURE NOUS INSPIRE

La Nature:

- Fonctionne à l'énergie solaire
- N'utilise que l'énergie dont elle a besoin
- Adapte la forme à la fonction
- Récompense la coopération
- Parie sur la diversité
- Valorise l'expertise locale
- Limite les excès de l'intérieur
- Transforme les limites en opportunités

Tâchons de l'imiter.

Éco-conception

Ensemble des méthodes de conception et de production permettant de diminuer les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service sur l'ensemble de son cycle de vie.

Biomimétisme

Philosophie consistant à prendre la nature comme modèle afin de répondre aux enjeux de développement durable.

Permaculture

Conception consciente de paysages qui miment les modèles et relations observés dans la nature, visant à obtenir une production abondante d'énergie, de matériaux et de nourriture pour satisfaire les besoins locaux.

Bio-inspiration

Processus créatif puisant son inspiration dans un plusieurs systèmes vivants.

Écologie Industrielle

Mode d'organisation collective se caractérisant par une gestion optimisée des ressources (eau, énergie, matériaux) et d'un fort recyclage de la matière et de l'énergie à l'échelle d'une zone, d'un territoire ou simplement entre deux entreprises.

Robotique

Science et technique de la conception, de la construction et de la manipulation des robots.

Bionique

Discipline liée à la robotique visant à la reproduction, l'augmentation, ou le remplacement de fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques.

Biomimétique

Processus créatif visant à résoudre des problèmes par l'abstraction, le transfert et l'application des connaissances biologiques.

Le croisement de ces principes et méthodologies a permis l'élaboration de la liste des "Principes pour une industrie durable", présentée à la page suivante.

PRINCIPES POUR UNE INDUSTRIE DURABLE

REGULATEURS CONSTRUCTEURS

- **Encourager la mise en coopération libre et directe des acteurs.**

La contractualisation libre et spontanée entre acteurs favorise à son tour la coopération. Plus les collaborations au sein d'un système sont nombreuses, plus son efficacité sera maximale

- **Favoriser la diversité d'acteurs, d'activités, de savoir et savoir-faire, tout en conservant leur intégrité.**

Afin de créer un réseau de coopération et de création de valeur, l'information, la matière et l'énergie mises en circulation doivent être de natures variées. En effet, il ne peut y avoir un écosystème industriel si toutes les activités sont les mêmes, ou un modèle de partage si tout le monde a la même rythme de vie.

- **Rechercher l'efficacité maximale de l'utilisation des ressources.**

Le territoire de flux s'en trouve territorialisé géographiquement, qui, grâce à des systèmes d'organisation, permet de limiter la dispersion et de réguler la diversité. On arrive naturellement à un compromis optimisé entre la standardisation de la production et la diversité des fonctions proposées.

- **Utiliser en priorité les services écosystémiques et les matériaux & énergies renouvelables à l'échelle d'une vie humaine.**

Tâchons d'utiliser les services que nous rend la Nature, et ce gratuitement et très efficacement. Intégrons aussi le renouvellement de la matière dans la conception du cycle de vie d'un produit ou service.

- **Le territoire de flux rassemblant les acteurs est formé par les ressources mises en circulation.**

Le corollaire de ce principe étant que tout blocage des-dits flux entraînera une diminution de l'efficacité du système. Ces blocages peuvent être dus à des brevets, des réglementations non-adaptées, des composants non-interopérables, des matériaux monstrueux, etc.

- **Comptabiliser les activités humaines en prenant en compte les externalités**

En d'autres termes, comptabiliser les impacts des activités, qu'ils soient positifs ou négatifs, du point de vue économique, social et environnemental. Cela permet, à long terme, de maximiser le renouvellement de la matière et de limiter les atteintes à la Biosphère en diminuant l'extraction

CPS & IOT

Grâce à l'Internet des Objets et ses réseaux de capteurs inter-connectés, les espaces cyber-physiques, ou *cyber-physical space* en anglais (CPS), peuvent obtenir des données en temps réel sur les conditions physiques d'un environnement. Ces espaces, caractérisés par la fusion des mondes physique et virtuel, offrent des possibilités et cas d'usages infinis.

Ces concepts sont à la base de la révolution 4.0, car ils permettent l'interconnexion des objets, systèmes et utilisateurs.

Cette liaison entre acteurs et matériel permet notamment la coopération et l'organisation intra-/inter-entreprises, menant à la formation de réseaux de création de valeur, qui, à leur tour, permettent des nouvelles formes d'échanges, de collaboration et de modèles d'affaires.

Un des nombreux cas d'usage de ces technologies, est le monitoring en temps réel des actifs, qui, affiché sur des dashboards interactifs, peut servir d'outil pédagogique.

En connectant ces systèmes d'informations à d'autres systèmes organisés, cela permet une interaction holistique entre espaces et mène donc, à terme, vers une augmentation de l'efficacité du système, qui se traduit par une réduction des intrants, des émissions et des déchets, ainsi que des coûts.

On peut citer les fameux *Smart Grid*, qui utilisent ces technologies de manière à optimiser la production, la distribution et la consommation d'électricité, ainsi que de mieux mettre en relation l'offre et la demande entre les producteurs et les consommateurs.

BigData & IA

Nous sommes dans l'ère où les données numériques sont devenues l'*or noir* du monde. Le BigData est le concept englobant toutes les activités de récolte, d'agrégation, de stockage et d'analyse des dites données. L'Intelligence Artificielle (IA) définit, comme son nom l'indique, les techniques visant à permettre aux machines d'imiter une forme d'intelligence réelle.

Ces deux concepts étant inextricablement liés, leur convergence est pleine de promesses pour les entreprises de toutes les industries.

Dans le cas de la gestion d'une usine connectée, ces technologies peuvent servir de base décisionnelle au personnel humain. En effet, l'extraction, d'informations à valeur ajoutée à partir de données brutes, réalisée par une IA, permet une visibilité tout autre sur l'environnement de production et son état.

La représentation exhaustive et en temps réel de ce cadre de travail facilite la prise de décision, qu'elle soit autonome, ou non, et/ou assistée.

Une application en plein essor est celle de la maintenance prédictive, qui permet de prévoir à l'avance la survenue d'incidents ou d'usure exagérée sur une machine de production. En plus d'étendre la durée de vie des dites machines, elle permet d'augmenter l'efficacité de la chaîne, en optimisant leur disponibilité.

ESPACES CYBER-PHYSIQUES BIGDATA & IA

JUMEAU NUMÉRIQUE

Un jumeau numérique est, comme son nom l'indique, une réplique virtuelle d'un objet, d'un processus ou d'un système qui peut être utilisé à diverses fins. Couplé à un espace cyber-physique lui fournissant toutes sortes de données, il permet de représenter numériquement la réalité !

Le BIM, *Building Information Modeling*, ou jumeau numérique du bâtiment permet, par exemple, la simulation des performances énergétiques, de réaliser des diagnostics techniques en amont, ou encore de mettre en place la traçabilité des déchets de chantiers.

Dans le contexte d'activités industrielles, il permet la planification avancée des processus. C'est-à-dire la découverte d'une solution optimale en fonction de contraintes dynamiques, sans avoir recours à des itérations dans le monde physique, qui peuvent s'avérer très coûteuses. Cette solution optimale peut se traduire en l'allocation automatique des ressources matérielles et humaines.

La visualisation de ces jumeaux numériques permet d'avoir un point de vue visuel sur les opérations. Grâce à cela, l'utilisateur peut voir les opérations et participer à leur organisation. Ils apprennent la technologie, par la technologie, en s'en servant et en l'incluant dans le déroulement de leurs tâches quotidiennes.

Enfin, le jumeau numérique d'un produit peut servir à faciliter le prototypage, et limiter le nombre d'itérations physiques à réaliser. Dans le cas d'un coton-tige, c'est facilement orchestrable, à l'échelle d'une machine industrielle, beaucoup moins. Chaque itération dans la vie réelle étant coûteuse et aussi difficile à mettre en œuvre que la précédente.

RA & RV

Les technologies très bien connues du grand public que sont la "réalité virtuelle" (RV) et la "réalité augmentée" (RA), ont un énorme potentiel pour le secteur industriel.

En effet, voir la réalité d'une manière différente, ainsi que d'avoir des informations implantées dans notre champ visuel apporte une pléthore de cas d'usages, aussi divers que variés.

Couplés à des logiciels pédagogiques la réalité virtuelle offre la possibilité de s'entraîner dans une infinité d'environnements et de situations, et ce, à distance, éventuellement depuis son canapé. Cela permet à l'utilisateur d'apprendre en toute sécurité, sans avoir à se mettre en danger sur le lieu de travail ; et à moindre coût pour l'entreprise qui peut utiliser les équipements à la seule fin de production, et non plus de formation.

La *Smart Maintenance* permet de délaissier les procédures d'intervention sur papier, au profit d'une session en direct entre un expert et un opérateur en situation. Le second peut visualiser les étapes et repères dans son champ visuel, et obtenir des indications de la part du premier.

La création de cyber-espaces de travail permettrait à tout un chacun de bénéficier d'un cadre, humain mais virtuel, pour travailler. Et ce, depuis chez eux tout en conservant les avantages des contacts directs, à savoir l'intelligence collective et le cadre propice à la créativité.

De plus, grâce au jumeau numérique d'un service ou produit, on peut simuler et visualiser l'ensemble du cycle de vie du produit, rendant l'éco-conception une affaire d'enfants !



ROBOTIQUE COLLABORATIVE

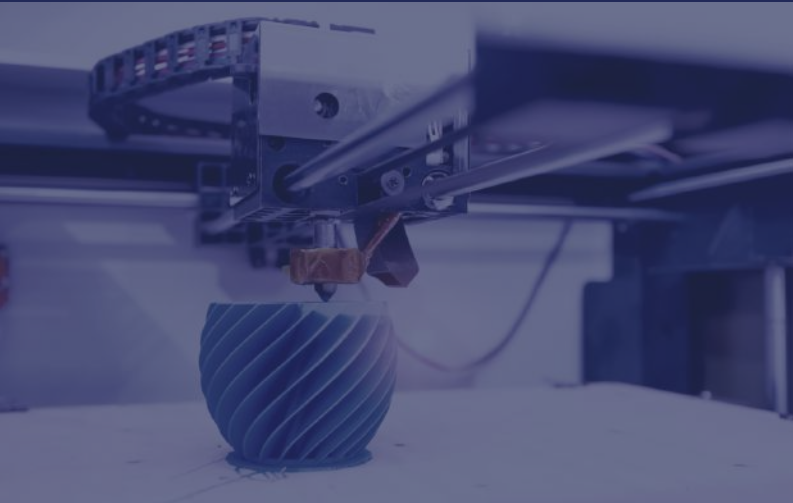
La cobotique ouvre de nouvelles voies vers une industrie collaborative où l'humain occupe une place centrale dans la chaîne de production automatisée: celle d'être la source de la créativité et de l'organisation à la base de l'orchestration des processus. C'est l'alternative au "tout automatique".

Suite à la mise en place d'un environnement de travail sécurisé, il n'y a théoriquement plus besoin de placer les robots dans des cages contrôlées. Les *cobots*, ou robots collaboratifs, peuvent ainsi assister les hommes dans les tâches pénibles et/ou dangereuses.

Un exosquelette est une forme de *cobot* qui soustrait l'effort physique de l'homme pour le transport de charges lourdes. Mais il en existe beaucoup d'autres types et formes, le principal avantage des *cobot* étant leur versatilité.

En effet, un robot collaboratif est beaucoup plus accessible et polyvalent que les robots industriels classiques. Au-delà du fait d'être moins coûteux, ils sont facilement re-programmables pour s'adapter à différents scénarios hétérogènes - la contrainte étant la diversité de fonctions du préhenseur/outil en bout de bras.

De plus, il a été démontré qu'une équipe composée de robots ET d'hommes était environ 85% plus productive qu'une équipe composée uniquement d'hommes OU de robots.



IMPRESSION 3D

La fabrication additive consiste à construire des pièces en 3D par addition de couches successives de matière sous contrôle d'un ordinateur. Cette méthode s'oppose à la fabrication soustractive, très gourmande en matières brutes.

L'avènement de cette technologie a permis un prototypage et une production rapide, localisée, et à bas-côût. Elle permet des possibilités avancées de personnalisation tout en diminuant la quantité de matières premières nécessaires à la fabrication d'un objet.

De plus, cette technologie est devenue très accessible, les imprimantes devenant de moins en moins coûteuses. Elles sont aussi facilement réparables que maintenables, en plus d'être très modulables et évolutives (on peut facilement remplacer la buse d'impression par un laser ou autre outil).

Un dernier aspect non-négligeable est celui de la capacité de la fabrication additive à réutiliser les déchets de matériaux. En effet, il existe des machines pour broyer les déchets plastiques en copeaux, afin de les réinjecter dans une machine qui produit des nouvelles bobines. On peut aisément imaginer le même processus avec des métaux.

COBOTIQUE FABRICATION ADDITIVE

LEAN & MÉTHODES AGILE

Le LEAN *manufacturing*, aussi appelé "production au plus juste", est une organisation industrielle de la production permettant de produire mieux, plus rapidement et à moindre coût. Elle met l'accent sur la réduction des déchets, considérés ici comme les processus et ressources qui engendrent un coût sans apporter de valeur ajoutée. En l'appliquant à d'autres catégories de "déchets", il est possible de réduire les externalités négatives des processus.

Quant aux méthodes AGILE, elles permettent de favoriser une planification adaptative, un développement évolutif, une livraison précoce et une amélioration continue, en encourageant des réponses flexibles au changement.

FORMES D'ÉCONOMIE

Grâce aux avancées méthodologiques et technologiques ainsi qu'aux nouvelles possibilités qu'elles apportent, on assiste à l'émergence de nouveaux modèles d'économie.

Parmi elles, on peut citer l'économie circulaire qui propose une alternative au modèle linéaire du "tout jetable" en ciblant la gestion sobre et efficace des ressources. Dans ce modèle, les flux d'énergie et de matières sont bouclés pour maximiser la réutilisation de ces derniers.

L'économie de partage, dite collaborative ou "peer-to-peer" permet de nouvelles formes d'échanges de bien et de services entre particuliers grâce à des plateformes d'offres commerciales.

L'économie de la fonctionnalité met l'accent sur la vente de l'usage du bien, plutôt que la vente du bien en lui-même. Enfin, citons l'économie de l'information, qui a fait ses preuves en Corée du Sud.

BIOLOGIE

Tirer son inspiration dans la nature implique des personnes dont le travail consiste à observer et étudier celle-ci: les biologistes - et autres métiers en lien.

La création d'un avenir durable implique la complémentarité et l'interaction entre disciplines hétérogènes, afin de créer de nouvelles synergies, et d'ouvrir des voies encore inexplorées.

Des outils existent déjà pour nous aider dans notre démarche de bio-inspiration. C'est le cas d'AskNature.org qui recense une base de données d'innovations naturelles et permet, à partir de mots-clé, de trouver des solutions puisées dans les écosystèmes naturels.

OPEN-SOURCE

En abaissant les barrières de la propriété intellectuelle, on permet la création de modèles collaboratifs prônant la fourniture de prestation de service plutôt que la vente de licences d'utilisation.

Ce modèle est une garantie de qualité et sa version monétisable est le "Open Core". Les *makerspace* en sont un exemple, ce sont des berceaux de créativité et d'innovation, accessibles par tous.

INDUSTRY5.0

Dans le prolongement de l'industrie 4.0, ce concept vise à replacer l'humain dans la chaîne de production automatisée en mettant en place des industries collaboratives.

Les hommes occuperaient ainsi alors leur rôle naturel dans ces écosystèmes industriels : celui de création de valeur grâce à leur créativité et leur capacité d'organisation.

BILAN DE L'ÉTUDE

À priori, nous avons réussi à démontrer qu'il était possible de trouver des solutions bio-inspirées pour une industrie durable, et donc de pouvoir éco-concevoir un système industriel - usine intelligente comprise.

Cependant, il existe une infinité de pistes à explorer, il n'y a donc pas de solution universelle mais bien une multitude d'implémentations locales et personnalisées.

TRANSITIONS

Chaque industrie ayant ses enjeux et problématiques propres, il conviendrait d'adapter les principes et indicateurs de performance à chaque secteur industriel, qui reposeraient sur un modèle partagé d'organisation durable.

Le développement durable est notre affaire à TOUS, peu importe notre place dans l'entreprise ou la société, il en va de notre responsabilité de mettre en œuvre ces solutions, à toutes les échelles.

Il faudra faire preuve de bon-sens et d'intuition pour assurer à nos enfants, un avenir **radieux**.

LIMITES DU CONCEPT DE SUSTAINABLE SMART FACTORY

Il faut quand même noter que le secteur de l'électronique requiert une quantité importante de matériaux rares et non-renouvelables. Il serait pertinent de préparer des sujets de recherche pour peser la balance entre bénéfices et impacts négatifs d'un point de vue environnemental des-dites implémentations numériques.

Également, la Nature n'est pas à considérer seulement comme une nouvelle boutique pour l'innovation, mais c'est une partie intégrante, à intégrer dans nos écosystèmes humains.

De plus, il faudra mettre l'accent sur la mise en œuvre de l'industrie 5.0 pour ne pas délaissé le maillon essentiel qu'est l'humain.

SOURCES

https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ecologie_industrielle_territoriale_synthese_thematique_010714.pdf
<https://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/sustainablemanufacturinggoodpractices.htm>
https://www.researchgate.net/publication/339927810_Sustainable_and_Smart_Manufacturing_An_Integrated_Approach
<https://www.beekeeper.io/blog/4-ways-manufacturing-companies-can-go-green/>
<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.13360>

CONCLUSION