

# Comment valider les recherches en génie industriel et en ingénierie système ?

EMMANUEL CAILLAUD, BERTRAND ROSE, VIRGINIE GOEPP

Université de Strasbourg, ICUBE  
3-5 rue de l'université, 67000 Strasbourg FRANCE  
prenom.nom@icube.unistra.fr

---

**Résumé** - Le domaine du génie industriel est bien délimité même s'il couvre des domaines divers. Les recherches en génie industriel sont de natures variées, avec des méthodes de recherche diverses. Il en est de même en ingénierie système. Suivant les objectifs de recherche et les méthodes utilisées, les validations des travaux sont à définir avec attention. Cette communication présente les différentes approches suivies dans des disciplines connexes et propose un premier guide pour la validation des recherches en génie industriel et en ingénierie système.

**Abstract** – Industrial engineering is very well known research domain even if it covers a wide spectrum. Research in industrial engineering can be very diverse considering their object or their research method. Research in systems engineering has the same characteristics. According to the research objectives, and the methods used, validations have to be carried out with great care. This paper aims at presenting different approaches followed in connex disciplines and to propose a first guide to validate the different research works in industrial and systems engineering.

**Mots clés** – Génie industriel, ingénierie système, méthode de recherche, validation

**Keywords** – Industrial engineering, systems engineering, research method, validation.

---

## 1 INTRODUCTION

Le génie industriel est généralement défini comme suit « Le génie industriel englobe la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés (hommes, matières premières, informations, équipements, énergies). Il utilise les connaissances provenant des sciences mathématiques, physiques et sociales, ainsi que les principes et méthodes propres au "génie" ou, à l'art de l'ingénieur, dans le but de spécifier, prédire et évaluer les résultats découlant de ces systèmes. » Cette définition est basée sur celle de l'association américaine des ingénieurs en génie industriel [IIE, 20015].

La recherche en génie industriel a toujours eu pour préoccupation une amélioration de la performance industrielle et considère plusieurs points de vue. La diversité des domaines et des disciplines alimentant le génie industriel conduit de fait à une diversité de recherches, de méthodes de recherches et de modes d'évaluation de la recherche.

L'ingénierie système est une approche interdisciplinaire dont le but est réaliser des systèmes avec succès. Elle se focalise sur la définition des besoins des clients et des fonctions requises, documenter les exigences, synthétiser la conception et la validation. L'ingénierie système intègre la gestion des opérations, l'évaluation de la performance, les tests, les coûts et les délais, la formation et le soutien logistique, la fin de vie et la fabrication [INCOSE, 2015].

La recherche en ingénierie système intègre donc aussi différents domaines avec différentes approches.

Depuis plusieurs années, nous nous intéressons aux méthodes de recherche et aux modes de validation des travaux notamment dans le domaine de la conception [Barth et al., 2011a]. Nous avons constaté une faiblesse récurrente dans la validation des travaux présentés et nous souhaitons contribuer un guide pour l'aide à la validation des recherches en génie industriel.

Dans cette communication, nous présentons dans un premier temps un état de l'art sur les méthodes de recherche et les méthodes de validation. Sur cette base, nous proposons un guide pour la validation des recherches en génie industriel.

## 2 ETAT DE L'ART

Les travaux de recherche en ingénierie ont généralement évolué d'un partage d'expérience, à la conceptualisation pour devenir plus expérimentale.

Tant en génie industriel qu'en ingénierie système, un domaine important concerne la conception. Ce point sera étudié en section 2.1. Souvent les travaux débouchent sur la définition d'un système d'information ou sur l'étude de son utilisation. Cet aspect sera analysé en section 2.2.

## 2.1 Recherche en conception

Sur ce sujet, on peut par exemple se reporter à l'ouvrage de L. Blessing et A. Chakrabarti en conception [Blessing et Chakrabarti, 2009]. Dans les premiers travaux, les concepteurs présentaient leur pratique de la conception dans un cadre académique. Ensuite, un cadre logique et systématique de la conception a été proposé. En prenant en compte les travaux sur la décision et les l'utilisation d'outils informatique d'aide à la conception, la recherche est devenue plus expérimentale [Bayazit, 2004]. Des données sont collectées et analysées pour comprendre et améliorer l'impact de nouvelles méthodes et de nouveaux outils sur le processus de conception.

La recherche en génie industriel étant à la convergence de plusieurs disciplines ayant chacune son histoire et des méthodes de recherche, elle combine donc différentes méthodes.

Une méthode de recherche doit définir des questions scientifiques, fournir un support méthodologique au problème traité, et aussi assurer la validation de la méthode de recherche utilisée [Booth et Williams, 2003].

Pourtant, l'étude que nous avons menée en 2011, a montré que plus de 35% des articles en conception dans une des meilleures revues du domaine n'étaient pas validés [Barth et al., 2011b]. Dans cette communication, nous avons analysé les articles parus dans le journal international « Research in Engineering Design » entre novembre 2005 et novembre 2009. Si 12% des propositions sont validées par une application, 11% par des comparaisons, on retrouve à droite de la (figure 1) que 26% des propositions ne sont pas validées ou qu'aucune validation ne semble possible.

La majorité des validations est subjective. « ça marche alors pourquoi valider ? ». Pourtant, cette faiblesse de la validation fragilise les résultats et la communauté scientifique.

46% des articles ne montraient pas de validation industrielle. Est-ce important ? Si une application industrielle ne contribue pas obligatoirement à l'excellence scientifique, elle est essentielle quant à son application.

En ce qui concerne la corrélation entre type de recherche et type de validation, le faible nombre d'articles étudiés ne nous a pas permis de conclure. Toutefois, on peut noter que seules les approches expérimentales (donc quantitatives permettent une validation statistique).

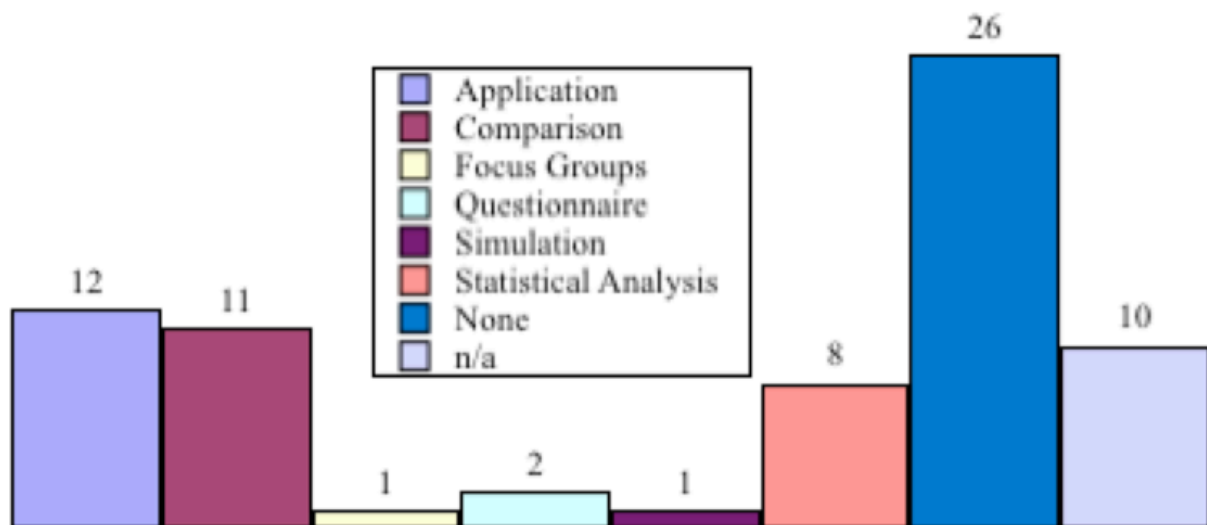


Figure 1. Répartition des types de validation en conception

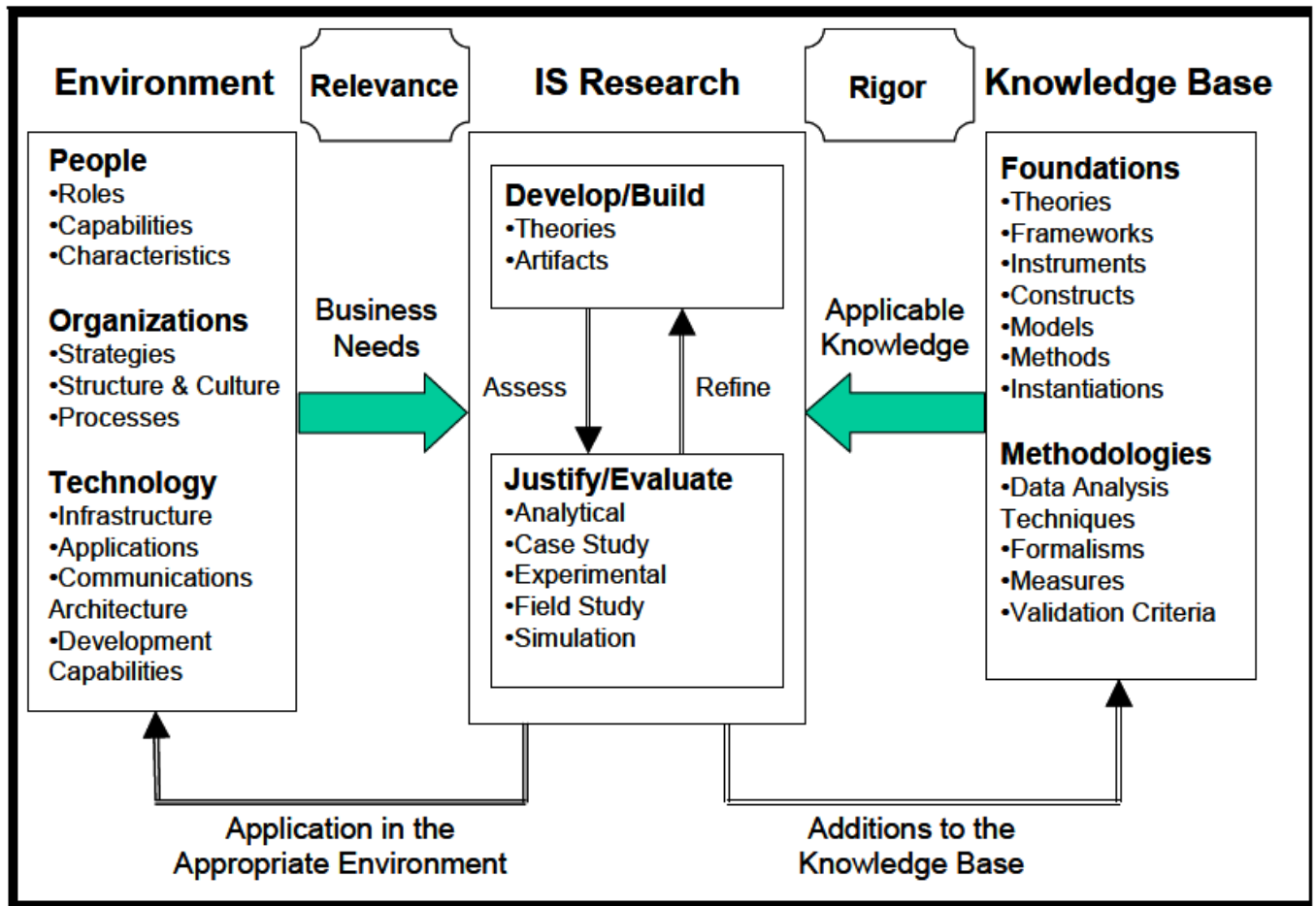


Figure 2. Cadre de la recherche en systèmes d'information [Hevner, 2004]

## 2.2 Recherche en systèmes d'information

Selon Hevner [Hevner et al., 2004], la recherche en systèmes d'information doit à la fois construire et évaluer. La réalisation peut aboutir à des modèles, des construits, des instanciations et des méthodes. La réalisation d'artefacts peut aussi permettre de valider la faisabilité.

Les auteurs proposent un cadre de recherche reproduite en figure 2. La pertinence de la recherche repose sur la satisfaction du besoin industriel. La rigueur de la recherche s'appuie à la fois sur les fondations théoriques et les méthodes utilisées.

7 guides sont alors proposés et illustrés pour contribuer à une recherche de qualité :

- proposer un artefact viable (construit, modèle, méthode, instanciation),
- développer des solutions qui répondent à des besoins économiques pertinents et importants,
- évaluer rigoureusement l'utilité, la qualité et l'efficacité de l'artefact,
- produire des contributions scientifiques claires et vérifiables (artefact, fondations de la conception, méthodologies de conception),
- appliquer des méthodes rigoureuses de conception et de validation d'artefacts,
- rechercher un artefact efficace en utilisant les ressources disponibles et en prenant en compte l'environnement du problème,

- les recherches en conception doivent être diffusées aux communautés traitant de technologie et de management.

## 2.3 Synthèse partielle et pistes de recherche

Les travaux en conception synthétisés dans cette partie ont 2 approches complémentaires. Un premier aspect concerne la proposition d'une démarche de recherche ou de guides de bonne pratique. Le second aspect concerne la faiblesse de la validation des travaux.

Il faut noter un manque dans ces travaux sur l'analyse de la diversité des méthodes de recherche et de leurs validations. De plus, nous n'avons pas identifié de travaux portant spécifiquement sur les méthodes de recherche en génie industriel et en ingénierie de systèmes.

## 3 TYPES DE RECHERCHE ET TYPES DE VALIDATION

Sur la base la synthèse des travaux présentés en section 2.3, nous allons détailler les différents types de recherche et les différents types de validation classiquement utilisés en génie industriel et en ingénierie de systèmes.

### 3.1 Différents type de recherche

Les recherches en génie industriel et en ingénierie système sont souvent menées en faisant évoluer les organisations et ou en développant de nouveaux systèmes industriels. Le développement de la recherche a souvent été mené sous la forme de recherche-action. Par sa dimension appliquée, une des méthodes de recherche utilisée est l'étude de cas. Plus récemment, on a évoqué la recherche sous la forme de théorie ancrée.

La recherche-action [Goyette et Lessard-Hébert, 1987] associe l'expérimentation et la recherche (voir Figure 3). Cette méthode de recherche vise à la fois la description, l'explication et la compréhension tout en veillant à contrôler le lien entre théorie et pratique.

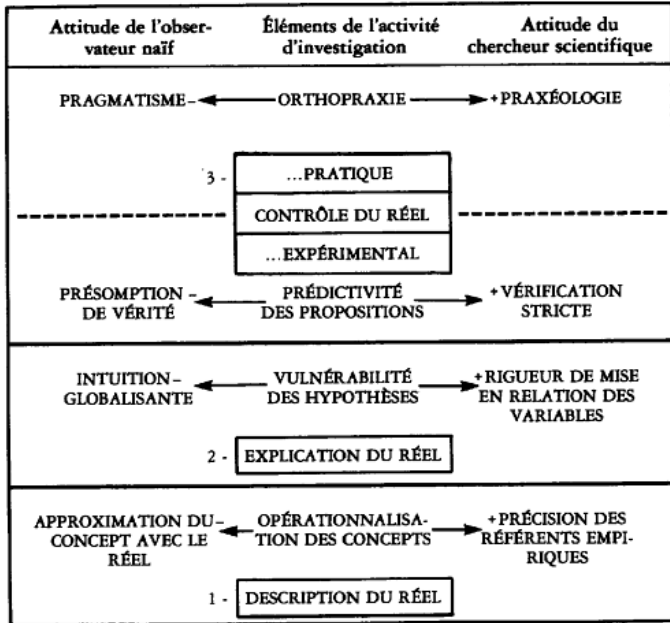


Figure 3. Recherche-action d'après [Goyette et Lessard-Hébert, 1987]

De nombreux travaux en génie industriel reposent sur une ou plusieurs études de cas. En effet, les études de cas sont bien adaptées quand on veut modéliser et prescrire (questions comment et pourquoi), que l'on ne peut pas contrôler tous les éléments du phénomène étudié, et que l'on s'intéresse à un système contemporain complexe [Yin, 2009]. Quand on s'intéresse à des variables nombreuses et que l'on manque de données, plusieurs cas sont nécessaires.

De nombreux travaux en génie industriel empruntent une démarche issue de la « grounded theory » (théorie ancrée). Celle-ci se réfère à un ensemble de méthodes inductives systématiques pour effectuer une recherche qualitative visant au développement d'une théorie. La « grounded theory » désigne deux facettes : un procédé constitué de stratégies méthodologiques flexibles d'une part, et les produits issues d'enquêtes d'autre part. De plus en plus, les chercheurs utilisent le terme pour désigner les méthodes d'enquête pour la collecte et, en particulier, l'analyse des données [Charmaz, 2003].

Les méthodes de recherche doivent permettre de s'assurer de la validité des résultats, maintenir une chaîne logique de preuves, tester des réfuter les autres explications possibles [Yin, 2009].

Si on considère que les méthodes doivent être choisies en fonction du contexte et des objectifs et que la validation dépend de la méthode, on peut représenter les relations suivantes sur la figure 4.

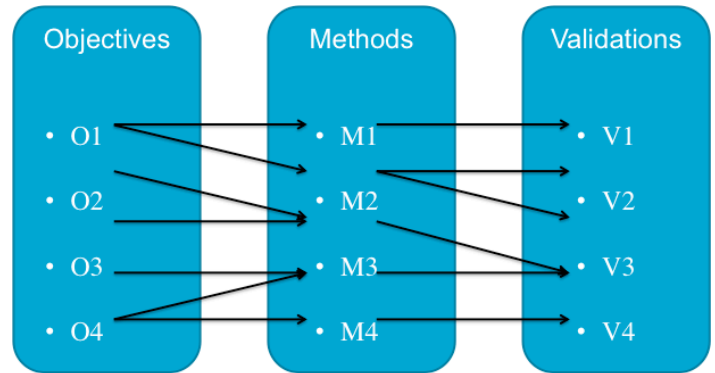


Figure 4. Relations entre objectifs, méthodes et validations

### 3.2 Différents types de validation

La validation concerne le développement de critères et l'évaluation des artefacts avec ces critères [March et Smith, 1995]. L'évaluation requiert la définition d'une métrique et d'un objectif.

Sur la base de la synthèse proposée en section 2 et en 3.1, on peut identifier différents aspects à valider (Table 1).

Table 1. Eléments à valider et critères de validation

Besoin	Artefact	Contribution scientifique	Démarche de conception
Pertinence et importance	Viable, efficace, adapté	Claire et vérifiable	Rigoureuse et validée

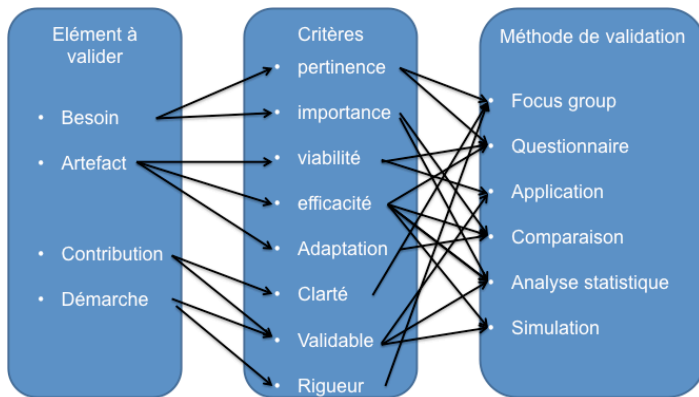
La classification des modes de validation des recherches en conception s'est basée sur les travaux présentés dans [Frey et Dym, 2006] qui tentent de faire le lien avec un autre domaine de recherche : la médecine. Nous avons alors défini une première liste de types de validation :

- Application
- Comparaison
- Focus groups
- Questionnaire
- Simulation
- Analyse statistique

Avec ces deux éléments, on peut associer les éléments à valider, les critères de validation et les types de validation.

Une première représentation est proposée en figure 5.

Cette chaîne de validation entre éléments à valider, critères de validation et méthode de validation montre que des éléments comme la clarté et la rigueur de la démarche ne sont évalués que par des experts. En recherche, cette évaluation ne peut être réalisée que par des pairs.



**Figure 5. Chaîne de validation.**

problématique industrielle est étudiée grâce à la bibliographie. L'analyse des manques dans les travaux précédents, permet d'identifier la problématique de recherche. Sur la base de la problématique industrielle et de la problématique scientifique, une démarche de recherche est définie. Dès le début, le mode de validation de la contribution attendue doit être défini. Ceci permet de clarifier l'objectif et la l'évaluation des résultats mais aussi de définir la méthode de validation. La contribution scientifique et ses limites doivent être validés éventuellement par la mise en œuvre de cette contribution dans un contexte industriel. Le déploiement industriel de la contribution scientifique apporte de nouvelles limites pour la validation et la robustesse du déploiement. Si plusieurs applications sont considérées (dans la même entreprise ou dans plusieurs), elles peuvent être évalués de manière quantitative et donner lieu à une évaluation statistique.

Sur les points listés, les préconisations suivantes peuvent être formulées :

P1 : La problématique industrielle doit être définie clairement. Ses spécificités et ses caractéristiques génériques doivent être distinguées. L'importance et la pertinence de la problématique industrielle doivent être étayées soit par comparaison avec d'autres entreprises/secteurs d'activité, soit par une analyse quantitative de l'importance de la problématique industrielle. La situation initiale doit être évaluée de manière à pouvoir évaluer l'effet des travaux menés.

P2 : L'étude bibliographique soit être complète et ne pas se limiter à quelques références de moins de 3 ans. Dans les domaines du génie industriel et de l'ingénierie système, différents domaines scientifiques sont souvent à considérer. Il faut veiller à ne pas faire du pillage bibliographique mais à bien positionner la recherche bibliographique dans un domaine avec des ouvertures précises à d'autres domaines. Par exemple, les définitions dépendent des disciplines et doivent être clairement identifiées.

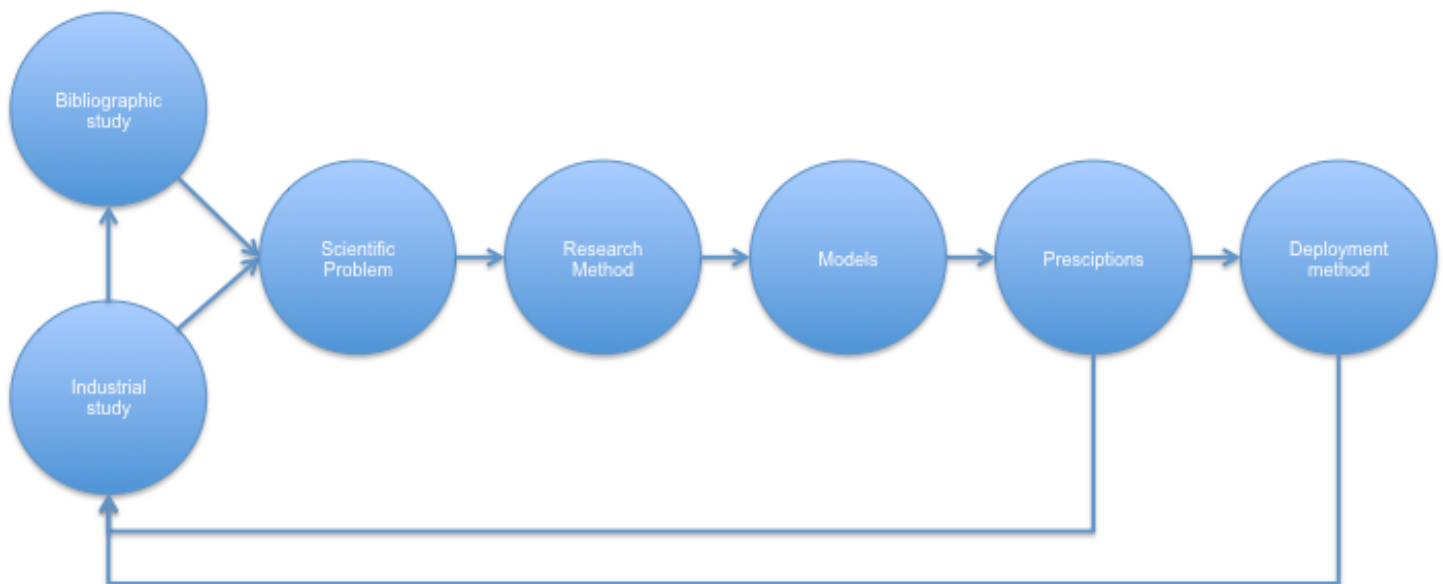
#### 4 GUIDE POUR LA VALIDATION DES RECHERCHES EN GENIE INDUSTRIEL ET EN INGENIERIE SYSTEME

La plupart des travaux utilisent plusieurs méthodes de recherche et plusieurs approches de validation. Classiquement, un besoin industriel est identifié. Cette problématique industrielle est étudiée grâce à la bibliographie. L'analyse des manques dans les travaux précédents, permet d'identifier la problématique de recherche. Sur la base de la problématique industrielle et de la problématique scientifique, une démarche de recherche est définie. Les principaux résultats sont souvent exprimés sous la forme de modèles et de prescriptions. Les prescriptions contribuent à répondre aux attentes industrielles. Leur mise en œuvre en entreprise et l'écart par rapport aux attentes initiales permet aussi de contribuer à la problématique industrielle. Cette démarche est représentée sur la figure 6.

##### 4.1 Guide pour la démarche de recherche et de validation

Dans la démarche présentée en figure 6, certains points méritent une attention particulière.

La plupart des travaux utilisent plusieurs méthodes de recherche. Classiquement, un besoin industriel est identifié. Cette



**Figure 6. Démarche de recherche**

P3 : La problématique scientifique doit bien décrire les manques en bibliographie et les verrous industriels. Les hypothèses doivent être explicites afin de pouvoir être validées (à la fin de la recherche, l'hypothèse est-elle validée ?).

P4 : La ou les méthodes de recherches doivent être explicitement choisies de manière justifiée et elles doivent être décrites. Quand plusieurs méthodes sont utilisées, leurs complémentarités doivent être formulées.

P5 : De nombreux travaux conduisent dans un premier temps à la définition de modèles. Le choix de la méthode de modélisation doit être justifié. Ces modèles respectent-ils le formalisme de la méthode de modélisation choisie ? Sont-ils exploitables par d'autres que ceux qui les ont réalisés ? Peuvent-ils être efficacement utilisés pour passer à la réalisation d'un produit physique, d'un logiciel, d'une organisation, ...

P6 : Un des résultats classiques est une liste de bonnes pratiques, des préconisations précises (comme celle-ci ☺). Le cadre dans lequel elles peuvent être utilisées est-il bien décrit ?

P7 : Les prescriptions ont-elles été appliquées et leur effet a-t-il permis une amélioration des performances ? Les critères d'évaluation auront été définis dès le début de l'étude (cf P1).

P8 : La démarche de déploiement des prescriptions a-t-elle été définie précisément ? Une modélisation de la démarche de déploiement est nécessaire sur plusieurs horizons temporels et plusieurs niveaux stratégiques. Cette démarche est-elle valide uniquement pour une entreprise ? Pour un secteur d'activité ? La généricité et les conditions d'utilisation (niveau de maturité de l'entreprise par exemple) de la démarche doivent être définis.

P9 : Une évaluation de l'efficacité et de la qualité du déploiement doit aussi être réalisée. Cela suppose la définition d'indicateurs sur le déploiement en termes de ressources utilisées et de satisfaction.

P10 : Les travaux de recherche doivent être communiqués non seulement de manière éthique [CNRS, 2014] mais aussi dans les communautés les plus à même de les évaluer avec pertinence. Par exemple, si la contribution est sur le système d'information support à la conception, les deux communautés doivent être sollicitées.

Ces différentes préconisations sont reprises dans la table 2.

**Table 2. Préconisations sur la recherche en génie industriel et en ingénierie système.**

Thèmes	Critère de validation
Problématique industrielle	Importance, pertinence, spécificité, quantifiée
Etude bibliographique	Complète, ouverte sur d'autres disciplines, clarté des définitions
Problématique scientifique	Manques identifiés, hypothèses explicitées
Méthodes de recherche	Explicitées, justifiées
Modèles	Formalisme justifié et respecté, exploitables
Préconisations	Explicitées, limites d'utilisation définies, applicables, efficaces
Démarche de déploiement	explicitée, limites d'utilisation définies, efficace, utilisée
Démarche de recherche	Ethique, diffusée dans les communautés appropriées

#### 4.2 Limites de validation

Les limites de validation de la contribution scientifique et de validation de la contribution industrielle sont essentielles en recherche. En effet, la contribution scientifique et la contribution industrielle ne sont valides que dans un contexte donné avec un objectif donné. La juste appréciation de ces limites permet à la fois la réutilisation des résultats dans le même contexte mais aussi de définir de nouvelles pistes de recherche.

Une des limites de validation est aussi clairement l'appréciation humaine indispensable pour décider soit à partir d'éléments quantitatifs mais surtout qualitatifs. Par exemple la pertinence et l'importance d'une problématique sont sujets à interprétation. Par exemple va-t-on s'intéresser à une maladie par ce qu'elle fait le plus de mort ou parce que le marché est le plus prometteur ?

## 5 CONCLUSION

Dans cette communication, nous avons tenté de proposer quelques éléments de discussion en vue de définir un guide pour les chercheurs en génie industriel et en ingénierie système.

Ces travaux ne sont réalisés que sur la base d'une étude bibliographique et sur la base de nos expériences en recherche. Sa validation est donc très limitée et demandera à être expérimentée et discutée. Les retours lors du congrès international de génie industriel contribueront à l'évolution de la contribution et à sa validation partielle.

## 6 REFERENCES

- Barth, A., Caillaud, E., Rose, B., (2011) Validation des recherches en conception : étude préliminaire. CONFERE 2011, Montbeliard, France, 30 juin-1er juillet.
- Barth, A., Caillaud, E., Rose, B., (2011) How to validate research in engineering design. *International Conference on Engineering Design - ICED'11*, Copenhague, Danemark, 15-18 Août.
- Bayazit, N. (2004) Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. *Design Issues*, 20(1), 16-29.
- Blessing, L. T. M., Chakrabarti, A. (2009) *DRM, a Design Research Methodology*, Springer.
- Booth, W. C., Colomb, G. G. & Williams, J. M. (2003). *The Craft of Research*, University of Chicago Press.
- Caillaud, E. (2015). Méthodes de recherche, support de cours, Université de Strasbourg.
- Charmaz, K. (2003). Grounded Theory. The SAGE Encyclopedia of Social Science Research Methods. Thousand Oaks, CA, SAGE: 440-444.
- CNRS (2014), Promouvoir une recherche intégrée et responsable, CNRS.
- Frey D. D., Dym, C. L. Validation of design methods and theories: lessons from medicine. *Research in Engineering Design*, 2006, 17(1), 45-57.
- Goyette G. et Lessard-Heubert M., *La Recherche-Action: Ses Fonctions, Ses Fondements et Son Instrumentation*, Presses Universitaires du Québec, 1987.
- Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., Ram, S., (2004) Design science in information systems research, *MIS Quarterly* 28 (1), 75-105.
- IIE (2015), About IIE, <https://www.iienet2.org/details.aspx?id=282>, consulté le 15 mai 2015.
- INCOSE (2015), What is systems engineering, <http://www.incose.org/AboutSE/WhatIsSE>, consulté le 3 juin 2015.
- March, S.T. & Smith, G.F., (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15(4), pp.251–266.
- Yin, R.K., (2009). Case study research. Design and methods. Fourth edition. Applied social research methods series. Volume 5. Sage.