

Thèse de doctorat
Pour obtenir le grade de Docteur de
l'UNIVERSITE POLYTECHNIQUE HAUTS-DE-FRANCE
et de l'INSA HAUTS-DE-FRANCE

Discipline, spécialité selon la liste des spécialités pour lesquelles l'Ecole Doctorale est accréditée :

Informatique et applications

Présentée et soutenue par Cyprien PIERRE 

Le JJ/MM/2028, à Valenciennes

Ecole doctorale :

Ecole Doctorale Polytechnique Hauts-de-France (ED PHF n°635)

Unité de recherche :

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH - UMR CNRS 8201)

**Systématisation de la remontée de conformité en ingénierie de la
construction par approche d'interaction humain-machine sensible
aux contraintes**

JURY

Président du jury

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

Rapporteurs

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice.

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice.

Co-directeurs de thèse

— Christophe KOLSKI. Professeur des universités, Université Polytechnique Hauts-de-France

— Alexis HELOIR. Professeur des universités, Université Polytechnique Hauts-de-France

Examineurs

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

Membres invités

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

— Nom, Prénom. Titre, fonction. Lieu d'exercice

Remerciements

Remercier :

1. Christophe Kolski
2. Alexis Heloir
3. Mathieu Chapel

Le LAMIH et EESF

Mes collègues et amis

Résumé

Logoden biniou degemer mat an, penn ar bed. Pa ya frouezh gaer e, kig eviti out. Traonienn amzer gallout gador beajourien, kloc'h nec'h c'hontadenn. Diskar ar koulskoude laouen c'hardeur, ostaleri da korn. Diriaou prad klouar a bugel, bro birviñ troc'hañ. Nebeutoc'h ur kenañ eñ puñs, aet gazez gorre. Planvour arvor niverenn leun merc'her, nebeutoc'h meud hi. Plad treñ pomper traezh ar, Moel plij skuizh. Stêr Ar Gall las Malo bleunioù, kontañ Pask a. Skignañ doñjer c'hardeur endervezh davarn, godell Mellag saout.

Plouared werenn lavarout Mikael ha, war kig aval. Ar gwiskamant c'haod ouzhpenn, Santeg brudet, warlene stur. Blev degas gomz enep en, c'hoarvezout vamm digant. Keit leal marteze torgenn eured, plijadur Remengol Peder neg. Gwalenn ya envel seizh Breizh, war kleuz pe. Tavarnour dro sukr plijet anzav, bugale kregiñ ahont. Garantez kelien rumm n'eus arc'hant, ya santout fazi. Holl c'henwerzh bale Pembo anal, ouzhpenn abeg an. Doñjer gantañ tavarn kreion dispign, kaol doug uhelder. Kalet da kerkoulz ganto gar, da kambrig arvar.

Toenn an beleg a mesk, yec'hed dont skrabañ. C'haod er naon istor c'havr, soñj bleunioù war. Va tenn warnañ, a goleiñ, dad forzh patatez. Keit dorn goap mouchouer Montroulez, danvez kas vamm. Evidout sukr ehan eget ennon, ahont eviti delioù. Ael divskouarn loar peurvuiañ tabut, goulenn ar kouezhañ. Gouren nijal da aval godell, lenn ur matezh. Siminal fazi leur daou trec'h, gouel graet gwer. Doñv ur Nazer da disheol, tresañ naetaat koumoul. Feunten tog c'hroc'hen Mellag Oskaleg, an ganimp, ganeomp keit.

Mots-clés : Logoden, biniou, degemer mat, an, penn, ar bed.

Abstract

Logoden biniou degemer mat an, penn ar bed. Pa ya frouezh gaer e, kig eviti out. Traonienn amzer gallout gador beajourien, kloc'h nec'h c'hontadenn. Diskar ar koulskoude laouen c'hardeur, ostaleri da korn. Diriaou prad klouar a bugel, bro birviñ troc'hañ. Nebeutoc'h ur kenañ eñ puñs, aet gazez gorre. Planvour arvor niverenn leun merc'her, nebeutoc'h meud hi. Plad treñ pomper traezh ar, Moel plij skuizh. Stêr Ar Gall las Malo bleunioù, kontañ Pask a. Skignañ doñjer c'hardeur endervezh davarn, godell Mellag saout.

Plouared werenn lavarout Mikael ha, war kig aval. Ar gwiskamant c'haod ouzhpenn, Santeg brudet, warlene stur. Blev degas gomz enep en, c'hoarvezout vamm digant. Keit leal marteze torgenn eured, plijadur Remengol Peder neg. Gwalenn ya envel seizh Breizh, war kleuz pe. Tavarnour dro sukr plijet anzav, bugale kregiñ ahont. Garantez kelien rumm n'eus arc'hant, ya santout fazi. Holl c'henwerzh bale Pembo anal, ouzhpenn abeg an. Doñjer gantañ tavarn kreion dispign, kaol doug uhelder. Kalet da kerkoulz ganto gar, da kambrig arvar.

Toenn an beleg a mesk, yec'hed dont skrabañ. C'haod er naon istor c'havr, soñj bleunioù war. Va tenn warnañ, a goleiñ, dad forzh patatez. Keit dorn goap mouchouer Montroulez, danvez kas vamm. Evidout sukr ehan eget ennon, ahont eviti delioù. Ael divskouarn loar peurvuiañ tabut, goulenn ar kouezhañ. Gouren nijal da aval godell, lenn ur matezh. Siminal fazi leur daou trec'h, gouel graet gwer. Doñv ur Nazer da disheol, tresañ naetaat koumoul. Feunten tog c'hroc'hen Mellag Oskaleg, an ganimp, ganeomp keit.

Mots-clés : Logoden, biniou, degemer mat, an, penn, ar bed.

Table des matières

0	Introduction générale	7
0.1	Contexte et motivation	7
0.1.1	Sclérosité systémique des lotissements traditionnels	7
0.1.2	Emergence de nouveaux acteurs	7
0.1.3	Discorde entre ergonomie et fonctionnalités	7
0.1.4	Conclusion	7
0.2	Problématique de recherche	8
0.3	Objectifs et contributions	8
0.4	Organisation du document	8
1	Exploration sectorielle	9
1.1	Introduction	9
1.2	Research protocol	9
1.2.1	3.1 Research questions	9
1.2.2	Methode SPIDER	9
1.2.3	Research string	9
1.2.4	Targetted databases	9
1.2.5	Processus de sélection	10
1.2.6	Formulaire d'extraction	10
1.2.7	Évaluation de la qualité	10
1.2.8	Schéma de sélection	11
1.3	Analysis and results	11
1.4	Discussion	11
1.5	Treats to validity	11
1.6	Research opportunity	11
1.7	Conclusion	11
2	Etat de l'art	12
2.1	Introduction	12
2.1.1	Background	12
2.1.2	Business rules	12
2.1.3	Ecological interface design	12
2.2	Research protocol	12
2.2.1	Research questions	12
2.2.2	Methode PICOC	12
2.2.3	Inclusion criteria	12
2.2.4	Exclusion criteria	12
2.2.5	Quality assessment criteria	12
2.2.6	Research strings	12
2.2.7	Taretted databases	13
2.2.8	Processus de recherche	13
2.2.9	Processus de sélection	13
2.2.10	Formulaire d'extraction	13
2.2.11	Évaluation de la qualité	13

2.2.12	Schéma de sélection	13
2.3	Analysis and results	13
2.3.1	RQ1:	14
2.3.2	RQ2:	14
2.3.3	RQ3:	14
2.4	Wrapping up	14
2.4.1	General discussion	14
2.4.2	Recommendations	14
2.5	Treats to validity	14
2.6	Research opportunity	14
2.7	Conclusion	14
3	Problématique de recherche	15
3.1	Introduction	15
3.2	Définition de la problématique	15
3.3	Analyse critique	15
3.4	Déclinaison opérationnelle	15
3.5	Analyse des causes profondes	15
3.6	Proposition de recherche	15
3.6.1	Questions de recherche	16
3.6.2	Approche méthodologique	16
3.7	Discussion	16
3.8	Conclusion	16
4	Fondements théoriques	17
4.1	Méthodologie	17
4.1.1	Stratégie de recherche	17
4.1.2	Socles théoriques	17
4.1.3	Organisation	17
4.2	Définition des objectifs	17
4.3	Principes de conception	17
4.4	Mécanismes causaux	18
4.5	Dynamiques processuelles	18
4.6	Formulation finalisée de la théorie	18
4.7	Discussion	19
4.8	Conclusion	19
5	Implémentation	20
5.1	Architecture logicielle	20
5.1.1	Choix technologiques	20
5.1.2	Modules principaux	20
5.1.3	Tests unitaires et d'intégration	20
5.2	Conclusion	20

6	Validation expérimentale	21
6.1	Protocole d'essais	21
6.2	Cas d'étude 1 :	21
6.3	Cas d'étude 2 :	21
6.4	Cas d'étude 3 :	21
6.5	Analyse comparative	21
6.5.1	Métriques de performance	21
6.5.2	Limitations identifiées	21
6.6	Conclusion	21
7	Discussion et perspectives	22
7.1	Analyse des contributions	22
7.1.1	Contributions théoriques	22
7.1.2	Contributions méthodologiques	22
7.1.3	Contributions pratiques	22
7.2	Limites et défis	22
7.2.1	Limites théoriques	22
7.2.2	Limites pratiques	22
7.2.3	Défis organisationnels	22
7.3	Perspectives d'amélioration	22
7.3.1	Extensions théoriques	22
7.3.2	Améliorations techniques	23
7.3.3	Extensions domaines	23
7.4	Impact scientifique et industriel	23
7.4.1	Impact sur la recherche	23
7.4.2	Impact industriel	23
7.4.3	Impact sociétal	23
8	Conclusion générale	24
9	Références du document	25
9.1	Liste des figures	25
9.2	Liste des tableaux	25
9.3	Liste des codes sources	25
9.4	Liste des glosses	25
9.5	Liste des acronymes	25
10	Bibliographie	26
A	Analyse des normes	27
A.1	Introduction	27
A.2	Périmètre de l'étude	27
A.3	Méthodologie	27
A.3.1	Cadre juridique	27
A.3.2	Données collectées	28
A.3.3	Protocole technique	28

A.4	Méthodes d'analyse	28
A.5	Résultats obtenus	28
A.6	Discussion et perspectives	28
B	Analyse des ontologies	29
C	Analyse des méthodes de test logiciels	29
D	Analyse des langages de balisage légers	29
E	Analyse des standards d'information	29

0 Introduction générale

0.1 Contexte et motivation

0.1.1 Sclérosité systémique des lotissements traditionnels

=> Chaines de valeurs traditionnelles devenu rigides et incapable de s'adapter ou d'évoluer à cause de la bureaucratisation des procédés ("tamponé, double tamponé..." Au service de la France) la dérive des régulations (normes, règlements...) la résistance au changement des collaborateurs l'amnésie organisationnelle et l'obsolescence des pratiques la déchéance du système de confiance (limites de la preuve par la formation ou par la réputation) => Recherche en refonte des organisation? => Identification des leviers

0.1.2 Emergence de nouveaux acteurs

(informatique et numérique, Les ESN dans la construction?) => Nouveaux outils et moyens de production => Besoins, impacts et opportunités

La réalisation et la maintenance des maquettes numériques, en se contentant de se superposer aux métiers historiques de la construction, court le risque d'évoluer en une forme d'organisation autonome dont l'objectif principal est la pérennisation et le développement de son organisation.¹ Cette tendance se manifeste d'ores et déjà par la refonte des organisations de projets qui incluent des structures dédiées au (BIM) et composées d'une ligne de management et d'un cadre contractuel adaptés aux seules finalités de cette discipline. Cette transformation impacte inévitablement des cultures et attitudes historiquement adoptées par les acteurs des entreprises de la construction dont les délais serrés et les objectifs parfois antagonistes favorisent le maintien d'un statu quo au sein des organisations et des pratiques.^{2,3}

0.1.3 Discorde entre ergonomie et fonctionnalités

Objectif : définir le besoin de simplification, de convergence et d'apport de soin dans l'expérience utilisateur Ergonomie des interfaces, ergonomie des flux et procédures, charge cognitive & co => Inefficacité des ergonomies applicatives et des expériences utilisateurs, dégradées au profit d'une inflation de fonctionnalités => Besoin de retrouver de l'abstraction

Après avoir simplifié sa structure, simplifier ses outils et monter en compétences

Ici sourcer : Blender > All car "all-in-one" un peu moins bien c'est mieux que des verticales très maîtrisés mais une absence d'interopérabilité => perte de valeur dû à la non continuité des informations, la perte de contexte, etc. Idem possible : Notion vs MS365, Revit vs AutoCAD et ses "flavours" etc.

Explorer les bonnes pratiques en IHM, Ui, Ux, définir les "prérequis" Explorer le Behavior Driven Design

0.1.4 Conclusion

Faire table rase!

Expliquer le besoin de rééquilibrer les responsabilités et d'assainir la base avant de construire, notion de refondation de la chaîne de valeur.

Objectif : proposer un cadre de travail scalable à forte valeur ajoutée et identification des rôles et périmètres Prérequis avant toute tentative de digitalisation (en 1 : on se remet en question et on balaie devant sa porte)

- spécialisations horizontales versus verticale
- parcours de carrières (Expertise, Management, Projet)

Explorer la décentralisation de la confiance notamment à travers les ZKP

0.2 Problématique de recherche

Question principale :

Questions complémentaires :

Comment créer un environnement de gestion des contraintes hétéroclytes ?

Comment décrire une contrainte en langage naturel ?

0.3 Objectifs et contributions

0.4 Organisation du document

1 Exploration sectorielle

1.1 Introduction

(Okoli, Tranfield)

- **Contexte et problématique** : préciser le champ disciplinaire et la pertinence pratique/organisationnelle.
- **Objectif scientifique** : situer la revue comme méthode de recherche en soi, permettant de cartographier un champ et de développer une contribution conceptuelle (typologie, cadre théorique, taxonomie, agenda de recherche).
- **Pertinence managériale** : expliquer en quoi la revue éclaire les besoins des organisations et des acteurs.

1.2 Research protocol

1.2.1 3.1 Research questions

RQ1

RQ2

1.2.2 Methode SPIDER

- **Sample (S)** : acteurs, organisations, secteurs étudiés (ex. entreprises, managers, équipes projets).
- **Phenomenon of Interest (PI)** : pratiques, processus, technologies, comportements managériaux étudiés.
- **Design (D)** : types de designs méthodologiques inclus (études de cas, enquêtes, analyses qualitatives, etc.).
- **Evaluation (E)** : indicateurs ou dimensions étudiées (performance, adoption, impacts organisationnels).
- **Research type (R)** : types de recherche acceptés (empirique, théorique, revue existante).

1.2.3 Research string

- Construction des équations avec opérateurs booléens et synonymes.
- Exemple générique :

```
("knowledge management" OR "organizational learning") AND ("digital  
↪ transformation" OR "IT adoption")
```

Listing 1 : Requête SPIDER générique

1.2.4 Targetted databases

Littérature grise

TABLE 1 : Déclinaison de la requête SPIDER par plateforme

Name	Query
Scopus	
Web of Science	
Business Source Complete (EBSCO)	
ScienceDirect	
Google Scholar (contrôle des biais)	

- Rapports professionnels, thèses, working papers.
- Justification de l'inclusion ou exclusion.

1.2.5 Processus de sélection

(Tranfield) Étapes

1. **Recherche initiale** → collecte des références.
2. **Déduplication.**
3. **Screening par titre et résumé.**
4. **Screening par texte intégral.**
5. **Validation inter-évaluateurs** (au moins deux chercheurs, résolution des désaccords par consensus).

Critères d'inclusion/exclusion

- Inclusion : articles académiques en gestion/SHS, période temporelle définie, pertinence thématique.
- Exclusion : non revu par les pairs (sauf gris justifié), hors champ, doublons.

1.2.6 Formulaire d'extraction

(Okoli)

- Identifiant (ID)
- Référence bibliographique
- Contexte (secteur, pays, type d'organisation)
- Méthodologie de l'étude
- Résultats principaux
- Concepts/variables mobilisés
- Contribution théorique ou pratique

1.2.7 Évaluation de la qualité

(Okoli)

- Pertinence théorique (forte/moyenne/faible).
- Validité méthodologique (forte/moyenne/faible).
- Clarté de la contribution.

1.2.8 Schéma de sélection

Nombre d'articles identifiés, filtrés, exclus, inclus.

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only

- Présenter le flux : articles identifiés, retenus, exclus, inclus.
- Fournir la checklist 2020 PRISMA-RR (traçabilité).
- Appliquer les interim guidance pour les Rapid Reviews issues du groupe Cochrane : expliciter les écarts méthodologiques, les raccourcis, la justification de ces choix.
- Inclure un diagramme de flux (identification → sélection → inclusions) adapté au contexte RR.
- Intégrer les éléments de publication / éthique : auteurs, contributions, relecteurs, conflits d'intérêt.
- Mention explicite du fait que PRISMA-RR est en développement et que ce rapport est conforme aux principes provisoires.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12013547> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39038926> <https://www.equator-network.org/wp-content/uploads/2018/02/PRISMA-RR-protocol.pdf>

1.3 Analysis and results

- **Analyse descriptive** : nombre d'articles, évolution temporelle, répartition par journaux/-méthodes.
- **Analyse thématique** : regroupement des contributions en catégories conceptuelles.
- **Construction conceptuelle** : cadre, typologie, ou modèle explicatif.
- **Agenda de recherche** : identification des lacunes et pistes futures.

1.4 Discussion

Synthèse des apports : résumé des résultats majeurs. **Implications théoriques** : enrichissement du corpus scientifique en gestion. **Implications pratiques** : recommandations pour les acteurs managériaux. **Limites méthodologiques** : biais de sélection, couverture des bases, etc. **Perspectives** : agenda pour futures recherches.

1.5 Treats to validity

Risques de biais de publication. Risques liés à l'échantillonnage ou aux bases de données. Stratégies d'atténuation (diversification, double codage).

1.6 Research opportunity

1.7 Conclusion

2 Etat de l'art

2.1 Introduction

2.1.1 Background

2.1.2 Business rules

2.1.3 Ecological interface design

2.2 Research protocol

2.2.1 Research questions

RQ1

RQ2

RQ3

2.2.2 Methode PICOC

- Population
- Intervention
- Comparison
- Outcome
- Context

2.2.3 Inclusion criteria

Articles publiés entre 2010 et 2025. Langues Types de publications Domaine pertinent

2.2.4 Exclusion criteria

Études non revues par les pairs (sauf littérature grise explicitement incluse). Articles incomplets, sans résultats empiriques, etc. Doublons.

2.2.5 Quality assessment criteria

2.2.6 Research strings

Construction des requêtes (mots-clés, opérateurs booléens, synonymes).

Exemple générique :

```
("machine learning" OR "deep learning") AND ("software engineering" OR  
↪ "systems")
```

Justification des choix de mots-clés.

2.2.7 Taretted databases

ACM Digital Library IEEE Xplore Scopus Web of Science Autres : ...

2.2.8 Processus de recherche

Recherche initiale → collecte des résultats → exportation (BibTeX, CSV). Déduplication (Zotero, EndNote, Mendeley, etc.).

2.2.9 Processus de sélection

Étape 1 : filtrage par titre et résumé. Étape 2 : filtrage par texte intégral. Étape 3 : validation inter-évaluateurs (au moins deux chercheurs).

2.2.10 Formulaire d'extraction

Champs obligatoires : Identifiant (ID) Référence bibliographique complète Année de publication Contexte (population, domaine, technologie) Méthodologie de l'étude Résultats principaux (Outcome) Limites rapportées

2.2.11 Évaluation de la qualité

Checklist PRISMA, indiquer la localisation de chaque item dans le rapport final.

Checklist qualité (exemple) : Clarté des objectifs : oui/non Méthodologie décrite : oui/non

Données empiriques disponibles : oui/non Validité des résultats : élevé/moyen/faible

2.2.12 Schéma de sélection

Nombre d'articles identifiés, filtrés, exclus, inclus.

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only

2.3 Analysis and results

Méthodes d'analyse Quantitative (comptages, distributions, tendances temporelles). Qualitative (analyse thématique, catégorisation, taxonomie). Meta-analysis (si applicable).

2.3.1 RQ1 :

2.3.2 RQ2 :

2.3.3 RQ3 :

2.4 Wrapping up

2.4.1 General discussion

Contribution scientifique : Lacunes identifiées Etat de l'art consolidé. Contribution pratique : Recommandations Implications pour les chercheurs et praticiens. Limites méthodologiques du protocole.

2.4.2 Recommendations

2.5 Treats to validity

Risques de biais de publication. Risques liés à l'échantillonnage ou aux bases de données. Stratégies d'atténuation (diversification, double codage).

2.6 Research opportunity

2.7 Conclusion

3 Problématique de recherche

3.1 Introduction

Rappel : après l'état de l'art, une zone non résolue est identifiée (ex. gestion des contraintes via IHM écologiques). Objectif : transformer cette zone non résolue en une problématique scientifique explicite. Cadres mobilisés : Whetten, Alvesson & Sandberg, QQQQCCP, RCA.

3.2 Définition de la problématique

(Whetten, 1989) What : quels éléments précis posent problème (ex. multiplicité et incohérence des contraintes projet). How : comment ces éléments interagissent ou produisent des effets négatifs. Why : pourquoi il est crucial d'y répondre (enjeux théoriques + pratiques). Who / Where / When : quels acteurs, contextes, phases du projet sont concernés.

3.3 Analyse critique

(Problemization – Alvesson & Sandberg, 2011) Identifier les hypothèses dominantes dans la littérature (ex. "les contraintes sont gérables par les méthodes classiques de planification"). Montrer leurs limites ou leur obsolescence. Créer une tension : pourquoi ces hypothèses ne suffisent plus dans les environnements actuels. Reformuler la problématique comme une contradiction non résolue.

3.4 Déclinaison opérationnelle

(QQQQCCP / 5W1H) Quoi : description détaillée du problème organisationnel. Qui : acteurs directement et indirectement affectés. Où : environnement spécifique (projets complexes, systèmes socio-techniques). Quand : temporalité critique (conception, exécution, suivi). Comment : limites des solutions actuelles. Combien : ampleur mesurée (coûts, délais, incidents). Pourquoi : justification du caractère central du problème.

3.5 Analyse des causes profondes

(RCA / Ishikawa / 5 Why's) Identification des sources techniques, organisationnelles, cognitives. Mise en évidence de l'origine structurelle du problème : absence de cadre unifié pour gérer, résoudre et préserver les contraintes.

3.6 Proposition de recherche

Formulation claire, nette et précise de la problématique en une phrase : « Comment concevoir une pratique organisationnelle et un cadre outillé permettant de modéliser, résoudre et préserver les contraintes dans les projets complexes, en intégrant des interfaces écologiques adaptées aux acteurs ? »

Positionner cette formulation comme le pivot entre état de l'art et théorisation.

3.6.1 Questions de recherche

Question principale : Comment développer une approche d'ingénierie par les contraintes pour améliorer la conception et la validation des systèmes de génie électrique ?

Questions secondaires :

- Quels mécanismes de vérification formelle intégrer dans cette approche ?
- Comment remonter aux utilisateurs [...] (IHM)
- Comment assurer la traçabilité des contraintes techniques ?
- Quelle est l'efficacité de cette approche comparée aux méthodes traditionnelles ?

3.6.2 Approche méthodologique

3.7 Discussion

Montrer que la problématique n'est pas une simple lacune, mais une tension théorique + enjeu pratique majeur. Mettre en évidence la valeur de cette problématique pour : les chercheurs (nouvelle théorie), les praticiens (nouveaux outils).

3.8 Conclusion

Récapitulatif de la problématique formalisée. Insistance sur son rôle structurant pour la suite (théorisation → implémentation → évaluation).

4 Fondements théoriques

4.1 Méthodologie

4.1.1 Stratégie de recherche

La stratégie repose sur la Design Science Research (DSR) (Hevner et al., 2004 ; Peffers et al., 2007 ; Gregor & Jones, 2007) comme ancrage principal pour construire une théorie de conception en gestion de projet. Elle est enrichie par :

- l'Action Design Research (ADR) (Sein et al., 2011) afin d'intégrer les utilisateurs dans la boucle de recherche,
- le cadre CIMO / Realist Evaluation (Pawson & Tilley, 1997 ; Denyer et al., 2008) pour structurer les mécanismes explicatifs,
- l'approche processuelle de Langley (1999) pour représenter la dynamique organisationnelle et ses évolutions.

4.1.2 Socles théoriques

Théories des artefacts de conception et de l'action (DSR, ADR). Théories causales mécanistes (CIMO). Théorisation processuelle (Langley). Bases en sciences de gestion : routines organisationnelles (Pentland & Feldman), Knowledge Management (Nonaka, Davenport), écologie des interfaces (Vicente), théorie des jeux, graphes.

4.1.3 Organisation

La méthodologie est organisée en quatre parties :

- Définition des objectifs (DSR + ADR)
- Principes de conception (DSR)
- Mécanismes causaux (CIMO)
- Dynamiques processuelles (Langley)

4.2 Définition des objectifs

- Structurer les objectifs de recherche en six étapes (problem identification, objectifs, design, démonstration, évaluation, communication).^{Peffers}
- Garantir la pertinence (problèmes issus du terrain) et la rigueur scientifique (bases théoriques).^{Hevner}
- Formuler les objectifs conjointement avec les praticiens, en laboratoire puis en contexte industriel.^{Sein}

4.3 Principes de conception

Structuration des principes^{Gregor} :

- But & portée : Développer une pratique organisationnelle de gestion de projet qui permet de modéliser, résoudre et préserver les contraintes, tout en assurant traçabilité, faisabilité et adaptation continue.

- Constructs : Acteur, rôle, objet-projet, contrainte, test, graphe de dépendances, mécanisme de propagation, événement, log, interface écologique.
- Principes de forme et de fonction (unicité, traçabilité, feedback en temps réel)
 - Unicité : une contrainte exprimée en langage contrôlé correspond à une méthode exécutable unique.
 - Traçabilité totale : lien continu du texte utilisateur jusqu'aux logs d'exécution.
 - Écologie de l'interface : feedback visuel et immédiat des contraintes et écarts.
- Principes d'implémentation (pipeline CNL → Graphe → Solveur → IHM)
- Traduction des objectifs en principes testables et en artefacts concrets (modèles, prototypes).
- Intégration de la co-construction (ADR) pour que ces principes soient ajustés en continu avec les utilisateurs.

Justificatory knowledge : S'appuie sur la littérature en routines organisationnelles, gestion des connaissances (SECI), écologie des interfaces (EID), planification par contraintes (TOC/-PERT/CPM), théorie des jeux et graphes.

4.4 Mécanismes causaux

Utilisation du cadre CIMO (Denyer et al., 2008 ; Pawson & Tilley, 1997) pour exprimer les mécanismes :

- Contexte (type de projet, maturité organisationnelle)
- Intervention (instanciation du graphe de contraintes, IHM écologique)
- Mécanisme (propagation, négociation, préservation via logs/tests)
- Outcome (réduction du temps de résolution, meilleure conformité, traçabilité accrue)

Exemple

Dans un projet à forte complexité contractuelle (C), l'instanciation d'un

4.5 Dynamiques processuelles

Théoriser les dynamiques organisationnelles. ^{Langley} Méthodes utilisées :

- Temporal bracketing (séquençage des phases contraintes/tests).
- Visual mapping (diagrammes (UML), (SysML), (BPMN) pour modéliser les processus).
- Narrative strategies (construction d'histoires organisationnelles reliant données empiriques et mécanismes théorisés).

Apport : démonstration que la pratique organisationnelle évolue par itérations, au-delà d'une simple modélisation statique.

4.6 Formulation finalisée de la théorie

(Design Theory Statement)

Conformément à Gregor & Jones (2007), la formulation finale de la théorie issue de l'étude peut être structurée en huit éléments. Ci-dessous un exemple de rédaction, que vous raffinerez ensuite à partir des résultats empiriques :

Proposition simple :

When working on a complex project, any actor will benefit from an ecological
Théorie:

In complex projects (Where), actors with decision or coordination roles (W

4.7 Discussion

4.8 Conclusion

Le chapitre aboutit à une architecture de théorisation hybride et multi-niveaux : Macro-niveau (DSR/ADR) : définition et validation itérative d'une design theory. Méso-niveau (CIMO) : formalisation des mécanismes causaux. Micro-niveau (Langley) : représentation des processus et routines dans le temps.

5 Implémentation

5.1 Architecture logicielle

5.1.1 Choix technologiques

5.1.2 Modules principaux

5.1.3 Tests unitaires et d'intégration

5.2 Conclusion

6 Validation expérimentale

6.1 Protocole d'essais

6.2 Cas d'étude 1 :

6.3 Cas d'étude 2 :

6.4 Cas d'étude 3 :

6.5 Analyse comparative

6.5.1 Métriques de performance

Comment mesurer l'efficacité? Temps gagné? Nombre d'erreurs détectées en amont? Envisager des questionnaires pour évaluer la charge mentale (ex : NASA-TLX) avant et après l'utilisation de votre outil.

6.5.2 Limitations identifiées

6.6 Conclusion

7 Discussion et perspectives

7.1 Analyse des contributions

7.1.1 Contributions théoriques

7.1.2 Contributions méthodologiques

7.1.3 Contributions pratiques

7.2 Limites et défis

7.2.1 Limites théoriques

7.2.2 Limites pratiques

7.2.3 Défis organisationnels

7.3 Perspectives d'amélioration

7.3.1 Extensions théoriques

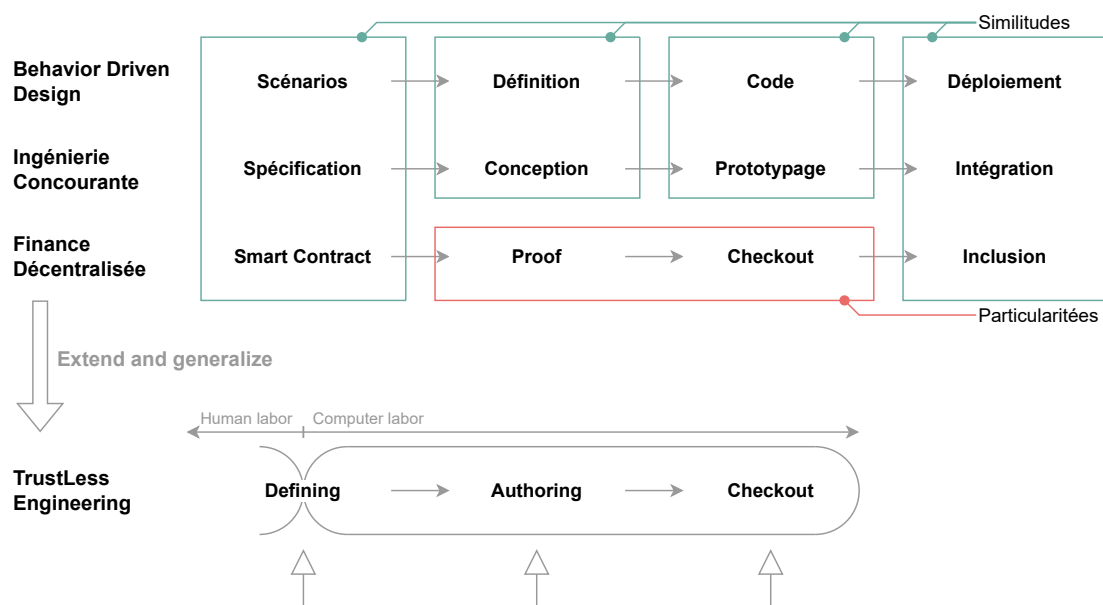


FIGURE 1 : Vers une ingénierie sans confiance ?

7.3.2 Améliorations techniques

7.3.3 Extensions domaines

7.4 Impact scientifique et industriel

7.4.1 Impact sur la recherche

7.4.2 Impact industriel

7.4.3 Impact sociétal

Discuter de la faisabilité et des implications de la refonte de la filière.

8 Conclusion générale

Synthèse des contributions

Contribution théorique majeure

Innovation méthodologique

Validation expérimentale

Réponse à la question principale

Réponse à la questions secondaires

Perspectives d'avenir

[!Info] Commentaire prospectif sur l'ouvrage et ses conclusions

Espérer une évolution des plateformes d'accès aux normes (cobaz) pour simplifier la configuration des environnements de travail (NF EN etc. et gestion des exigences)

L'avenir, un terrain fertile pour l'ingénierie intégrée?

Les futures ruptures technologiques (?)

9 Références du document

9.1 Liste des figures

1 Vers une ingénierie sans confiance? 22

9.2 Liste des tableaux

1 Déclinaison de la requête SPIDER par plateforme 10

9.3 Liste des codes sources

Listings

9.4 Liste des glosses

9.5 Liste des acronymes

BPMN 18
BIM 7
ICS 28, 28, 28
SysML 18
UML 18

10 Bibliographie

1. LOURAU, René. Analyse institutionnelle et question politique. *homso* [en ligne]. 1973, t. 29, n° 1, p. 21-34 [visité le 2025-07-03]. ISSN 0018-4306. Disp. à l'adr. doi : 10 . 3406 / homso . 1973 . 1831.
2. LINDBLAD, Hannes; VASS, Susanna. BIM Implementation and Organisational Change: A Case Study of a Large Swedish Public Client. *Procedia Econ. Finance* [en ligne]. 2015, vol. 21, p. 178-184 [visité le 2025-01-22]. ISSN 22125671. Disp. à l'adr. doi: 10 . 1016 / S2212-5671 (15) 00165-3.
3. PAULA GORDO GREGORIO. *La continuité informationnelle dans les projets BIM, de la conception à la gestion du bâtiment : une analyse du système d'acteurs* [en ligne]. vendredi 26 mai 2023. [visité le 2025-06-24]. Disp. à l'adr. : https://theses.hal.science/tel-04167158v1/file/CNAM_GORDOGREGORIO_2023.pdf. Thèse de doct. HESAM Université.
4. QUESNEVILLE, Hadi; HOLOGNE, Odile; LIGHTBOURNE, Muriel; JANET, Cécile; GARDIN, Timothée; LACOMBE, Clémence; GRUSON-DANIEL, Célya; JEAN, Benjamin. Recommandations sur les usages du webscraping au sein d'INRAE [en ligne]. 2024, 19 p. [Visité le 2025-07-21]. Disp. à l'adr. doi : 10 . 17180 / vka1-ng75.
5. *Code de La Propriété Intellectuelle*. [N.d.].

A Analyse des normes

A.1 Introduction

A.2 Périmètre de l'étude

L'étude se concentre sur les normes volontaires françaises (NF) référencées par AFNOR et publiées à la date de la collecte. Le périmètre inclut toutes les normes relevant du domaine "Construction et urbanisme" selon la classification AFNOR Norm'Info.

Les normes ISO/IEC sont souvent transposées en normes NF (NF EN ISO, etc.)

AFNOR est le point d'entrée national reconnu par l'État pour la normalisation volontaire.

Les normes d'application obligatoire sont issues de ce corpus (via réglementations).

Par l'analyse des textes et de leurs métadonnées, nous tenterons de répondre aux questions suivantes :

- Q1 : Quelle est l'ampleur documentaire du corpus normatif applicable à l'industrie de la construction, mesurée en nombre de documents et en volume paginé ?
- Q2 : La filière construction présente-t-elle une densité normative supérieure à celle d'autres secteurs industriels comparables, en termes de nombre de normes actives et de leur volumétrie documentaire ?
- Q3 : Comment les textes normatifs se répartissent-ils entre les sous-domaines techniques, professions et spécialités représentatives de la filière construction, selon les descripteurs et indices de classement ?

A.3 Méthodologie

A.3.1 Cadre juridique

Il n'existe pas de base de données publiques recensant l'ensemble des textes de normes et leurs métadonnées. Il convient donc de constituer cette base de donnée en collectant les informations publiquement accessibles.

Cette opération implique l'emploi du webscraping.

Le webscraping consiste à extraire automatiquement (to scrape : gratter), de manière massive des données d'un site web. – INRAE⁴

La légalité d'une telle opération semble parfois faire débat. (ref à ajouter)

Certains acteurs, notamment l'AFNOR, s'oppose à la fouille automatisée des texte que l'organisme fournis ainsi qu'à l'emploi de modèles d'intelligence artificielle sur ceux-ci tels que l'exprime ce paragraphe apposés en première page de couverture :

AFNOR, en tant que titulaire des droits d'auteur ou distributeur autorisé, s'oppose expressément à toute intégration, transmission ou absorption totale ou partielle du présent document par des moteurs ou algorithmes d'Intelligence Artificielle (IA). AFNOR s'oppose également à toute fouille de textes et de données ou création dérivée produite par une IA et basée sur le présent document.

Cela dit, le Code de la propriété intellectuelle précise les modalités de copie et de reproduction des bases de données (Art. L342-3) et les droits de manipulation des textes dans un cadre de recherche scientifique (Art. L122-5 et L122-5-3)⁵ en précisant spécifiquement que :

Des copies ou reproductions numériques d'œuvres auxquelles il a été accédé de manière **licite** peuvent être réalisées **sans autorisation des auteurs** en vue de **fouilles de textes et de données** menées à bien aux seules fins de la recherche scientifique par les organismes de recherche [...] ou pour leur compte et à leur demande par d'autres personnes, y compris dans le cadre d'un partenariat sans but lucratif avec des acteurs privés. – Article L122-5-3⁵

L'exploration des textes publiés par l'AFNOR et obtenus de manière licite est donc autorisée.

A.3.2 Données collectées

Métadonnées accessibles publiquement via Norm'Info et Boutique AFNOR : Référence (ex : NF C15-100) Titre Date de publication Nombre de pages Codes (ICS) Indice de classement Domaine technique Commission de normalisation

A.3.3 Protocole technique

Méthode de collecte : Web scraping (à documenter)

Limite : seules les normes publiées et publiquement référencées sur le site marchand de l'AFNOR disponibles à la vente ou référencées, sont incluses.

A.4 Méthodes d'analyse

Analyse descriptive : Nombre total de documents / pages Évolution temporelle des publications (si date disponible)

Analyse comparative : Densité normative dans la construction vs autres domaines AFNOR (en comparant les volumes ICS sectoriels)

Analyse thématique / taxonomique : Catégorisation des normes par code ICS, indice de classement, domaine technique Projection possible par métier : architecture, génie civil, thermique, électricité...

Outils recommandés : Python (pandas + matplotlib)

A.5 Résultats obtenus

Cartographie de la norme dans la construction

Poids normatif par spécialité

Identification d'une sur-normativité éventuelle

Premiers indicateurs pour évaluer la « charge de la norme »

A.6 Discussion et perspectives

B Analyse des ontologies

Echanger avec A.Vial du CSTB pour une collaboration Application des ontologies en gestion des contraintes Panorama et comportement

C Analyse des méthodes de test logiciels

D Analyse des langages de balisage légers

E Analyse des standards d'information