

**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

<b>0</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>7</b>
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
<b>1</b>	<b>Exploration sectorielle</b>	<b>9</b>
1.1	Introduction . . . . .	9
1.2	Protocole de recherche . . . . .	9
1.3	Résultats de recherche . . . . .	10
1.4	Analyses des résultats . . . . .	11
1.5	Discussion . . . . .	11
1.6	Conclusion . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Etat de l’art</b>	<b>12</b>
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
<b>3</b>	<b>Problématique de recherche</b>	<b>15</b>
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
<b>4</b>	<b>Fondements théoriques</b>	<b>17</b>
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
<b>5</b>	<b>Taxonomie des contraintes</b>	<b>20</b>
5.1	Définition de contrainte . . . . .	20
5.2	Taxonomie des contraintes . . . . .	21
5.3	Médiums et volumétrie . . . . .	22
5.4	Exercice des contraintes . . . . .	22
5.5	Cadre de travail . . . . .	24
5.6	Méthodes de traitement . . . . .	25
5.7	Conclusion . . . . .	25
<b>6</b>	<b>Proposition</b>	<b>26</b>
6.1	Architecture logicielle . . . . .	26
6.1.1	Choix technologiques . . . . .	26
6.1.2	Modules principaux . . . . .	26
6.1.3	Tests unitaires et d'intégration . . . . .	26
6.2	Conclusion . . . . .	26

<b>7</b>	<b>Validation expérimentale</b>	<b>27</b>
7.1	Protocole d'essais . . . . .	27
7.2	Cas d'étude 1 : . . . . .	27
7.3	Cas d'étude 2 : . . . . .	27
7.4	Cas d'étude 3 : . . . . .	27
7.5	Analyse comparative . . . . .	27
7.5.1	Métriques de performance . . . . .	27
7.5.2	Limitations identifiées . . . . .	27
7.6	Conclusion . . . . .	27
<b>8</b>	<b>Discussion et perspectives</b>	<b>28</b>
8.1	Analyse des contributions . . . . .	28
8.1.1	Contributions théoriques . . . . .	28
8.1.2	Contributions méthodologiques . . . . .	28
8.1.3	Contributions pratiques . . . . .	28
8.2	Limites et défis . . . . .	28
8.2.1	Limites théoriques . . . . .	28
8.2.2	Limites pratiques . . . . .	28
8.2.3	Défis organisationnels . . . . .	28
8.3	Perspectives d'amélioration . . . . .	28
8.3.1	Extensions théoriques . . . . .	28
8.3.2	Améliorations techniques . . . . .	29
8.3.3	Extensions domaines . . . . .	29
8.4	Impact scientifique et industriel . . . . .	29
8.4.1	Impact sur la recherche . . . . .	29
8.4.2	Impact industriel . . . . .	29
8.4.3	Impact sociétal . . . . .	29
<b>9</b>	<b>Conclusion générale</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Références du document</b>	<b>31</b>
10.1	Liste des figures . . . . .	31
10.2	Liste des tableaux . . . . .	31
10.3	Liste des codes sources . . . . .	31
10.4	Liste des glosses . . . . .	31
10.5	Liste des acronymes . . . . .	31
<b>11</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>32</b>
<b>A</b>	<b>Analyse des normes</b>	<b>33</b>
A.1	Introduction . . . . .	33
A.2	Périmètre de l'étude . . . . .	33
A.3	Méthodologie . . . . .	33
A.3.1	Cadre juridique . . . . .	33
A.3.2	Données collectées . . . . .	34
A.3.3	Protocole technique . . . . .	34

A.4	Méthodes d'analyse . . . . .	34
A.5	Résultats obtenus . . . . .	34
A.6	Discussion et perspectives . . . . .	34
<b>B</b>	<b>Analyse des ontologies</b>	<b>35</b>
<b>C</b>	<b>Analyse des méthodes de test logiciels</b>	<b>35</b>
<b>D</b>	<b>Analyse des langages de balisage légers</b>	<b>35</b>
<b>E</b>	<b>Analyse des standards d'information</b>	<b>35</b>

# 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.<sup>1</sup> 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.<sup>2,3</sup>

### 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 Protocole de recherche

Research questions

**RQ1**

**RQ2**

Méthode 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).

Research string

- Construction des équations avec opérateurs booléens et synonymes.

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

**Listing 1** : Requête SPIDER générique

**TABLE 1** : Déclinaison de la requête SPIDER par bases de données ciblées

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

Littérature grise

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

Processus de sélection (Tranfield)

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 et d'exclusion

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

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

Évaluation de la qualité (Okoli)

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

### 1.3 Résultats de recherche

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>

## 1.4 Analyses des résultats

- **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.

## 1.5 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. Risques de biais de publication, Risques liés à l'échantillonnage ou aux bases de données, Stratégies d'atténuation (diversification, double codage).
- **Perspectives** : agenda pour futures recherches.

## 1.6 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).<sup>Peffers</sup>
- Garantir la pertinence (problèmes issus du terrain) et la rigueur scientifique (bases théoriques).<sup>Hevner</sup>
- Formuler les objectifs conjointement avec les praticiens, en laboratoire puis en contexte industriel.<sup>Sein</sup>

### 4.3 Principes de conception

Structuration des principes<sup>Gregor</sup> :

- 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. <sup>Langley</sup> Méthodes utilisées :

- Temporal bracketing (séquençage des phases contraintes/tests).
- Visual mapping (diagrammes Unified Model Language (UML), System Model Language (SysML), Business Process Model and Notation (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 Taxonomie des contraintes

### 5.1 Définition de contrainte

À l'origine, contraindre et contrainte évoquent l'idée d'une pression exercée pour restreindre la liberté d'action d'une personne.<sup>4</sup> Dans le langage courant, une contrainte désigne tout ce qui force ou limite la liberté d'action.<sup>5</sup> Par extension, le mot s'applique à toute obligation ou règle à laquelle on doit se plier et qui réduit le champ de liberté.

En outre, certains domaines techniques ont des acceptions spécifiques du terme. En droit, une contrainte peut désigner un acte coercitif.<sup>5</sup> En mécanique, le mot contrainte sert à traduire l'anglais stress, soit une force appliquée à un matériau qui tend à le déformer.<sup>6</sup> Ces usages spécialisés gardent néanmoins l'idée commune de force appliquée ou de limite imposée.

Dans de nombreuses normes techniques et scientifiques, le terme contrainte est employé avec un sens plus formalisé, mais toujours avec l'idée centrale de restriction imposée :

- restriction de paramètres ou de degré de liberté (orientation, taille, position, proximité),<sup>7</sup>
- restriction attachée à un type de données,<sup>8</sup>
- condition formelle "exprimée en langage naturel ou dans un langage formel" qui précise ou limite la sémantique d'un modèle.<sup>9</sup>
- borne de l'espace de recherche de solutions<sup>8</sup> dans les systèmes experts.

En synthèse, qu'il s'agisse de géométrie, de données, de modélisation ou d'autres domaines, toutes ces définitions normatives s'accordent pour voir la contrainte comme un élément limitatif : c'est une condition, une règle ou un ensemble de paramètres qui restreignent les possibilités afin de satisfaire à des critères donnés. Une contrainte borne un espace (espace de tolérance, domaine de valeurs, comportement autorisé, etc.) **en écartant ce qui n'est pas admissible.**

Dans le domaine de l'ingénierie et de la gestion de projets de construction, on peut considérer la contrainte comme une notion englobant tous les éléments qui délimitent l'espace de solution d'un projet. Autrement dit, l'ensemble des facteurs qui, pris en compte conjointement, circonscrivent ce qu'il est possible ou acceptable de réaliser. Ces facteurs incluent :

- le contexte et les données d'entrée du projet :
  - les contraintes de site (encombrement, climat, sol),
  - les contraintes réglementaires et normatives (codes de construction, normes de sécurité),
  - les ressources disponibles (budget, délai imparti, main-d'œuvre)
- Les besoins à satisfaire
  - besoins explicitement formulés par le client ou les utilisateurs,
  - besoins implicites (non dits mais attendus)
- Les objectifs : niveau de performance ou un résultat à atteindre (par ex. efficacité énergétique visée, capacité fonctionnelle, niveau de qualité)
- Les exigences : condition à remplir ("le système doit faire X")
- Les spécifications : détaille les paramètres mesurables ("telle performance, telle dimension, tel standard à respecter")
- Les prescriptions techniques : impose les moyens à mettre en oeuvre (un équipement, un composant, un matériau).

En somme, toute condition à satisfaire, qu'elle provienne du contexte, d'un besoin, d'une règle ou d'un choix stratégique, constitue une contrainte du projet. Cette vision rejoint la définition mathématique d'une contrainte comme condition que doit satisfaire la solution d'un problème,

la solution admissible étant celle qui respecte l'ensemble des contraintes. Dans un projet, les contraintes dessinent ainsi les frontières de l'acceptable : elles forment un cadre à l'intérieur duquel l'équipe de conception doit trouver sa liberté de manœuvre. Ainsi nous pouvons définir :

Expression d'une condition, limitation ou obligation, formulée en langage naturel, qui restreint l'espace des solutions possibles afin de garantir que la solution retenue soit conforme au contexte (légal, social, sociétal, environnemental, économique et technique) du projet.

**Synonymes :** besoin, objectif, spécification, exigence.

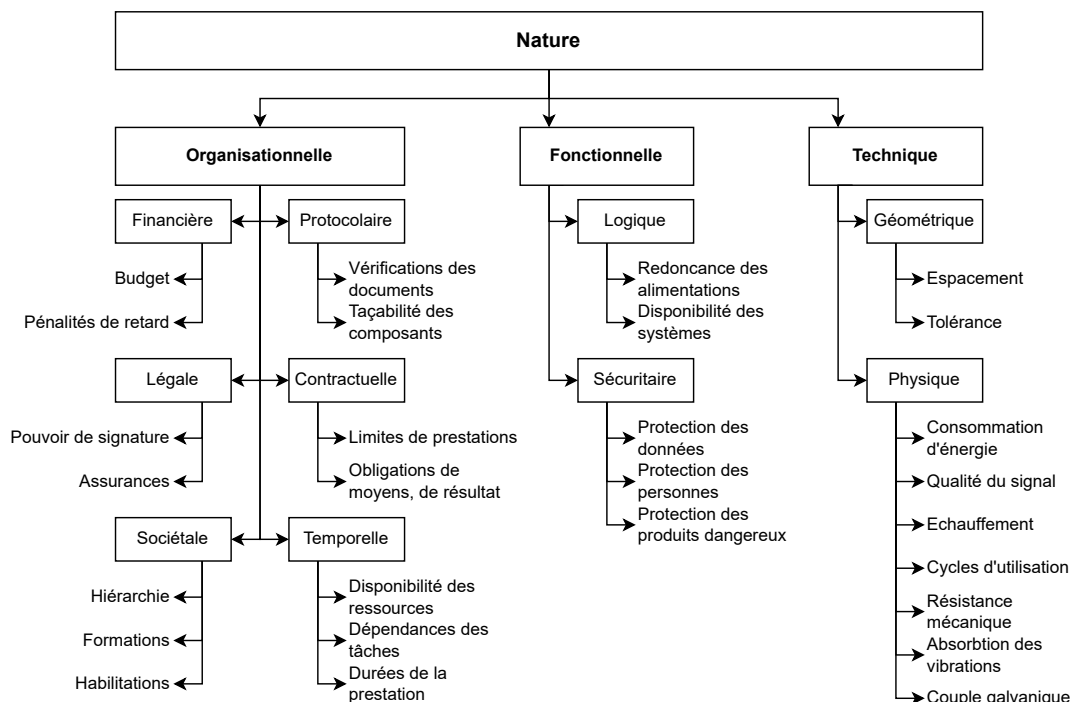
Par cette définition, la notion de contrainte reste agnostique du cycle de vie du projet. Qu'il s'agisse de la phase de planification, de conception, de réalisation ou d'exploitation, les contraintes forment le fil directeur immuable auquel se référer pour prendre les bonnes décisions.

## 5.2 Taxonomie des contraintes

Illustrer chaque catégorie de contrainte par des exemples précis

expliquer le périmètre de contrainte de la thèse

La littérature distingue plusieurs dimensions pour classer les contraintes :



**FIGURE 1 :** Hierarchie des contraintes

Justifier le besoin d'une "méthode de rédaction générique".

## 5.3 Médiums et volumétrie

expliciter la problématique : taille du corpus, diversité des sources, silotage des rédactions (pas de travail conjoint entre les organismes producteurs de contraintes), difficulté d'en connaître, etc.

Sources, origines et finalités

Brevets, Normes, Législation, Contrats, Jurisprudences...

Volume conséquent => faire un compte du nombre de pages par domaine pour illustrer la problématique.

Règlementations	Séries de Normes	Cycle de vie	Acteurs	Documentation	SI (Legacy)
AQ84	ISO 9000	Faisabilité	Maitrise d'ouvrage (MOA)	Cahier des charges	ERP
	ISO 14000	Esquisse	Assistant MOA	Spécification	SIRH
	ISO 27000	Concours	Maitrise d'oeuvre (MOE)		PPM
	ISO 31000	Avant Projet Sommaire	ETMT		PLM
		Avant Projet Définitif	Mainteneur (FM)		GMAO
		Projet	Gestionnaire d'actif (PM)		IWMS
		Consultation (DCE)	Propriétaire	[...]	CRM
		Excursion	Locataire		GED
		Commissionnement			CDE
		DOE			
		Gestion, Exploitation et Maintenance		PV Essais d'ensemble	
		Démantèlement			

**FIGURE 2 :** Proposition de représentation des environnements de contraintes

voie de recherche possible : création d'un service de fourniture de contrainte standardisé et unifié appellable via des requettes API

## 5.4 Exercice des contraintes

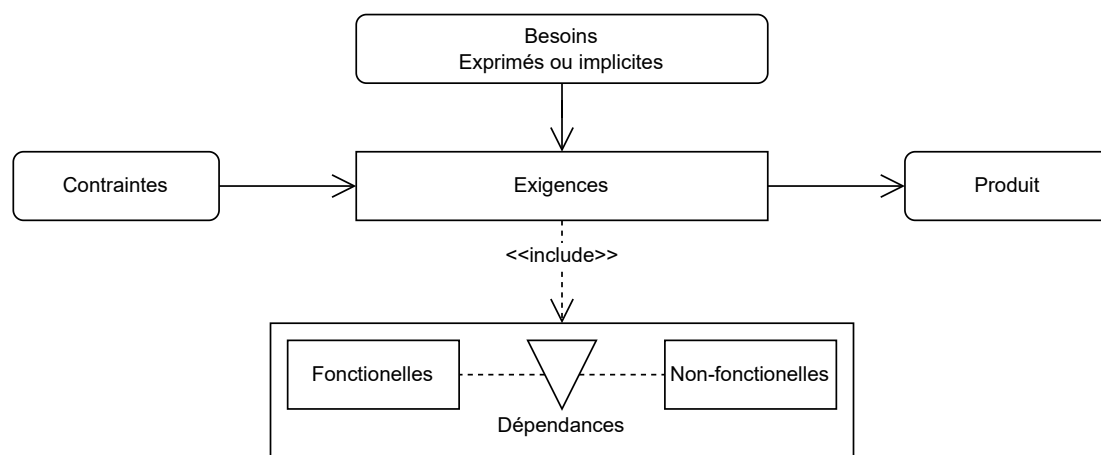
expliciter le cycle de vie des contraintes

Dans l'industrie de la construction, les parties prenantes se coordonnent dans la réponse à des exigences exprimées. Cette gestion des exigences vise l'atteinte des objectifs du client en respect des contraintes légales, réglementaires et normatives.

Les exigences sont déterminées à partir des besoins des parties prenantes et des contraintes comme les conditions d'utilisation, les ressources et la législation. – NF EN 60300-1:2014<sup>10</sup>

La relation entre exigences et contraintes est représentée par la 3. Ainsi, une exigence est une spécification d'un besoin tenant compte des contraintes du domaine d'étude. Cependant, la limite est souvent floue entre un besoin, une contrainte et une exigence. Les professionnels de la construction ont donc tendance à les mélanger.

Une matrice de traçabilité des exigences est employé pour réalisé le suivi des exigences.



**FIGURE 3 :** La relation entre contraintes et exigences selon l'ISO 60300-1<sup>10</sup>

Elle se matérialise par un tableau ou un document qui relie les exigences d'un projet aux livrables, tâches, jalons ou tests qui les satisfont. Son objectif principal est de garantir que toutes les exigences sont couvertes par les plans du projet et qu'aucun besoin n'est négligé. Elle permet également de vérifier l'impact des modifications d'exigences, facilitant la gestion des changements.

Élaboration de la matrice :

1. Collecte des exigences : rassembler toutes les exigences du projet, qu'elles proviennent du cahier des charges, des réunions avec les parties prenantes, d'autres documents de projet ainsi que des textes institutionnels applicables.
2. Identification des livrables : Listez tous les livrables du projet, y compris les rapports, les documents, le code source, les schémas, les maquettes numériques, les plans, etc.
3. Préparer la matrice : la première colonne source les exigences et la première ligne source les livrables. La première cellule (eg. A1:A1) est laissée vide.
4. Affecter les livrables aux exigences : Une croix est inscrite à l'intersection de chaque exigence devant être respectée ou vérifiée par un livrable. Un livrable peut être affecté à plusieurs exigences et une exigence peut nécessiter plusieurs livrables pour être vérifié. Cette étape nécessite une compréhension approfondie du projet et une collaboration étroite avec les équipes techniques.

Utilisation de la matrice :

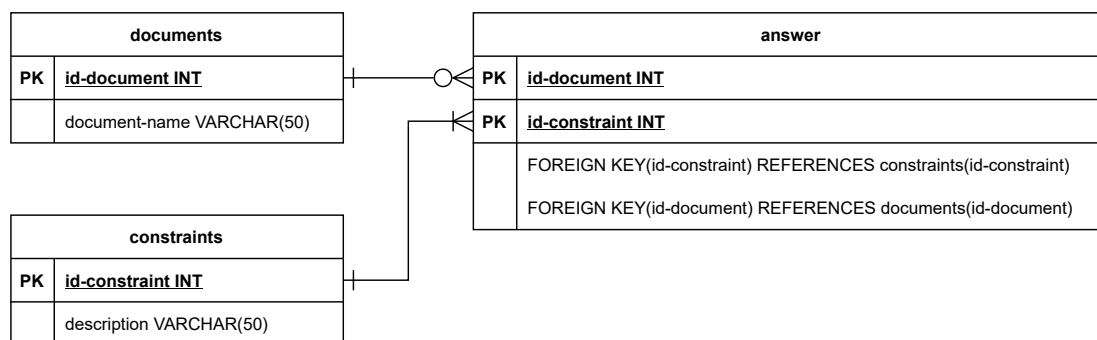
- Vérification de la couverture des exigences : la matrice permet de s'assurer que chaque exigence est adressée par au moins un livrable, réduisant ainsi le risque d'omissions.
- Gestion des changements : Lorsque des modifications sont apportées à une exigence, la matrice facilite l'identification des livrables impactés, aidant à évaluer l'ampleur et l'impact du changement sur le projet.
- Communication avec les parties prenantes : La matrice fournit une vue d'ensemble claire qui peut être utilisée pour communiquer l'avancement du projet et la manière dont les exigences sont satisfaites, renforçant la confiance des parties prenantes.
- Facilitation des tests : En liant les exigences aux cas de test, la matrice aide à s'assurer que tous les aspects du système sont correctement testés, contribuant à la qualité du produit final.

La matrice de traçabilité des exigences est un document vivant qui **doit être régulièrement**



**mis à jour tout au long du projet.** Les ajouts, les suppressions ou les modifications d'exigences, ainsi que l'évolution des plans de livrables, doivent être reflétés dans la matrice pour maintenir sa précision et sa pertinence. Elle est employée en complément d'une liste des documents exécutés par le prestataire.

La nature de sa composition s'apparente à une table de jonction d'une base de donnée relationnelle tel que pourrait définir, sous forme de MLD la figure 4.



**FIGURE 4 :** MLD - Association des exigences aux livrables

## 5.5 Cadre de travail

on pose ici les 3 composantes du projet de recherche lié aux contraintes

Les contraintes étant centraux à la caractérisation d'un ouvrage, il convient de définir un cadre de travail rigoureux permettant leurs manipulation.

Ce cadre doit posséder à minimum 3 composantes :

- Modélisation : formulation, négociation et amélioration des contraintes;
- Résolution : vérification de l'espace de solution, contrôle automatisé du respect des contraintes;
- Préservation : suivi des évolutions, association contextuelle, recherche d'information, etc.

Modélisation des contraintes : c'est l'activité de formulation et de négociation des contraintes en amont et au fil du projet. Il s'agit d'identifier clairement toutes les contraintes pertinentes (contextuelles, contractuelles, techniques...), de les exprimer de façon non ambiguë (rédaction dans le cahier des charges, spécifications, notes de calcul, modèles UML, etc.) et de s'assurer qu'elles sont comprises et acceptées par les parties prenantes. La modélisation inclut éventuellement la négociation de certaines contraintes : par exemple discuter d'une tolérance plus large si une exigence s'avère trop restrictive par rapport au coût, ou reformuler un besoin implicite en exigences explicites testables. Un bon modèle de contraintes se veut complet, traçable et partagé par tous, servant de référence commune.

Résolution des contraintes : ce volet recouvre la satisfaction effective des contraintes lors de la recherche de solution et de la réalisation du projet. Il s'agit d'abord de procéder à la résolution du problème en trouvant un espace de solution qui respecte l'ensemble des contraintes identifiées – en d'autres termes, vérifier qu'il existe au moins une solution faisable (vérification de la non-surcontrainte). Ensuite, on s'assure du juste niveau de contrainte : éviter d'ajouter des contraintes inutiles ou trop sévères qui surcontraindraient le projet par rapport au besoin réel. Cela implique une optimisation : assez de contraintes pour rencontrer le besoin et les objectifs, mais pas au point d'éliminer des solutions viables ou d'alourdir le projet inutilement. Enfin, ce

volet inclut la vérification du respect des contraintes tout au long des études et de l'exécution – par des revues de conception, des simulations, des prototypes ou des tests. Chaque décision technique ou modification doit être évaluée au prisme des contraintes : si une solution envisagée viole une contrainte (par exemple une charge dépassant la contrainte de poids maximal), il faut soit l'ajuster, soit envisager de redéfinir la contrainte si cela est justifié et approuvé.

Préservation des contraintes (capitalisation) : au-delà du respect ponctuel, il est crucial de préserver la mémoire des contraintes du projet et de leur évolution. Ce troisième volet consiste à historiser et documenter les contraintes, leurs justifications d'origine, et les éventuelles modifications apportées en cours de route (assouplissements, ajouts, suppressions), de sorte que l'on sache à tout moment pourquoi telle contrainte a été posée et pourquoi tel choix de conception a été fait en conséquence. Cette traçabilité garantit la cohérence du projet sur la durée et facilite la maintenance ou les évolutions futures. Par exemple, conserver dans un registre ou une base de connaissance le raisonnement ayant conduit à une contrainte particulière (issue d'une norme, d'un retour d'expérience, d'une demande client spécifique...) permettra, des années plus tard, à un nouvel intervenant de comprendre le rationnel de conception. La préservation des contraintes et de leur historique de négociation contribue ainsi à une gestion de configuration rigoureuse et à l'amélioration continue du référentiel de conception de l'entreprise.

En conjuguant ces trois dimensions, on dote la notion de contrainte d'un véritable cadre de gestion sur le projet en respectant la définition 5.1.

## **5.6 Méthodes de traitement**

Langage naturel :

- Rédaction
- Affectation (par des tableaux et matrices)
- Relecture (sur la base de listes à puces, checklist)
- Simulations (éventuellement mais loop sur rapport produit)
- Model checking : vérification exhaustive d'états finis, non systématique à date et loop sur rapport produit

## **5.7 Conclusion**

## **6 Proposition**

### **6.1 Architecture logicielle**

#### **6.1.1 Choix technologiques**

#### **6.1.2 Modules principaux**

#### **6.1.3 Tests unitaires et d'intégration**

### **6.2 Conclusion**

## **7 Validation expérimentale**

### **7.1 Protocole d'essais**

### **7.2 Cas d'étude 1 :**

### **7.3 Cas d'étude 2 :**

### **7.4 Cas d'étude 3 :**

### **7.5 Analyse comparative**

#### **7.5.1 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.

#### **7.5.2 Limitations identifiées**

### **7.6 Conclusion**

## 8 Discussion et perspectives

### 8.1 Analyse des contributions

#### 8.1.1 Contributions théoriques

#### 8.1.2 Contributions méthodologiques

#### 8.1.3 Contributions pratiques

### 8.2 Limites et défis

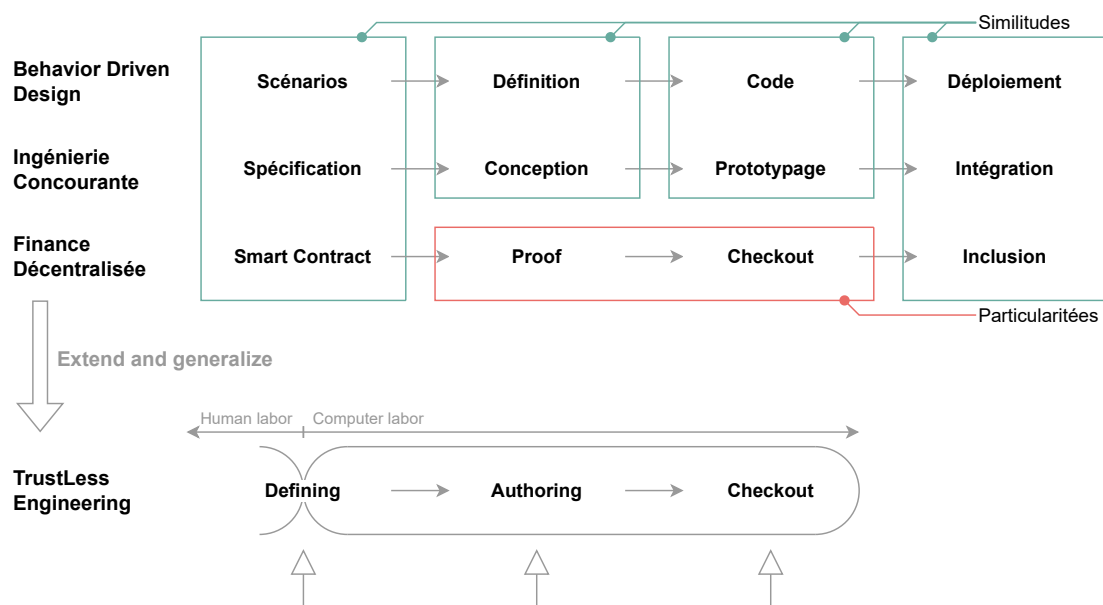
#### 8.2.1 Limites théoriques

#### 8.2.2 Limites pratiques

#### 8.2.3 Défis organisationnels

### 8.3 Perspectives d'amélioration

#### 8.3.1 Extensions théoriques



**FIGURE 5 :** Vers une ingénierie sans confiance ?

#### **8.3.2 Améliorations techniques**

#### **8.3.3 Extensions domaines**

### **8.4 Impact scientifique et industriel**

#### **8.4.1 Impact sur la recherche**

#### **8.4.2 Impact industriel**

#### **8.4.3 Impact sociétal**

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

## 9 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 (?)

# 10 Références du document

## 10.1 Liste des figures

1	Hierarchie des contraintes . . . . .	21
2	Proposition de représentation des environnements de contraintes . . . . .	22
3	La relation entre contraintes et exigences selon l'ISO 60300-1 <sup>10</sup> . . . . .	23
4	MLD - Association des exigences aux livrables . . . . .	24
5	Vers une ingénierie sans confiance? . . . . .	28

## 10.2 Liste des tableaux

1	Déclinaison de la requête SPIDER par bases de données ciblées . . . . .	9
---	---	---

## 10.3 Liste des codes sources

## Listings

## 10.4 Liste des glosses

## 10.5 Liste des acronymes

<b>BPMN</b>	Business Process Model and Notation	18
<b>BIM</b>		7
<b>ICS</b>	International Classification for Standards	34, 34, 34
<b>SysML</b>	System Model Language	18
<b>UML</b>	Unified Model Language	18, 24



## 11 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](https://theses.hal.science/tel-04167158v1/file/CNAM_GORDOGREGORIO_2023.pdf). Thèse de doct. HESAM Université.
4. *CONTRAINTE : Etymologie de CONTRAINTE* [en ligne]. [visité le 2025-09-29]. Disp. à l'adr. : <https://www.cnrtl.fr/etymologie/contrainte/2>.
5. *Définition : Contrainte* [en ligne]. [visité le 2025-09-29]. Disp. à l'adr. : <https://www.toupie.org/Dictionnaire/Contrainte.htm>.
6. FRANÇAISE, Académie. *contrainte* | *Dictionnaire de l'Académie française* | 9e édition [en ligne]. [visité le 2025-09-29]. Disp. à l'adr. : <http://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9C3882>.
7. *Spécification géométrique des produits (GPS) - Association*. AFNOR, 2023. Version 1. N° NF EN ISO 4351.
8. *Technologies de l'information - Vocabulaire* [en ligne]. ISO/IEC, 2015 [visité le 2025-10-06]. N° ISO/IEC 2382. Disp. à l'adr. : <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v2:fr>.
9. *Information géographique - Langage de schéma conceptuel*. AFNOR, 2024. Version 2. N° NF EN ISO 19103.
10. *Gestion de La Sûreté de Fonctionnement - Partie 1 : Lignes Directrices Pour La Gestion et l'application*. AFNOR, 2014. No. NF EN 60300-1.
11. 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.
12. *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 web scraping.

Le web scraping consiste à extraire automatiquement (to scrape : gratter), de manière massive des données d'un site web. – INRAE<sup>11</sup>

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 textes que l'organisme fournit 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)<sup>12</sup> 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 L122-5-3<sup>12</sup>

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 International Classification for Standards (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**