HAL
open science

La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative

Khadidja Grebici

To cite this version:

Khadidja Grebici. La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative. Autre [cs.OH]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2007. Français. NNT : . tel-00271524

HAL Id: tel-00271524

https://theses.hal.science/tel-00271524v1

Submitted on 9 Apr 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque
|__|__|__|__|__|__|__|__|__|__|

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INP Grenoble

Spécialité : *« Génie Industriel »*

préparée aux laboratoires _G-SCOP (Science pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble) et

LSR-SIGMA (Logiciels Systèmes Réseaux).

dans le cadre de **l'Ecole Doctorale** ***« Organisation Industrielle et Systèmes de Production »***

présentée et soutenue publiquement

par

Khadidja GREBICI

le 08/01/2007

La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative

DIRECTEUR DE THESE : Dominique RIEU
CO-DIRECTEUR DE THESE : Eric BLANCO

JURY

M.	Michel LEONARD (Université de Genève)	, Président
M.	Alain BERNARD (Ecole Centrale de Nantes)	, Rapporteur
Mme	Corine CAUVET (Université-Aix-Marseille)	, Rapporteur
Mme	Dominique RIEU (UPMF-Grenoble)	, Directeur de thèse
M.	Eric BLANCO (INP-Grenoble)	, Co-encadrant
M.	Michel TOLLENAERE (INP-Grenoble)	, Examinateur

« La moralité des arts consiste dans l'usage parfait d'un moyen imparfait »

Oscar Wild

Extrait de *Le portrait de Dorian Gray*

Remerciement

Je voudrais, par cette page, remercier l'ensemble des personnes qui ont, de prés ou de loin, contribué à mes travaux de thèse.

Je vais commencer par Mm Dominique Rieu et par M. Eric Blanco qui ont toujours été à mes côtés pendant ces trois années de recherche. Vous m'avez fait confiance et épauler et surtout permis d'apprendre beaucoup de choses aussi bien sur le plan professionnel que sur le plan personnel. Je te dis sincèrement merci à toi « Dom » et à toi Eric.

Je tiens également à témoigner toute ma reconnaissance à tous les membres du G-SCOP (ex. GILCO) qui ont su m'apporter leur soutien tout au long de ce travail. Je remercie M. Yannick Frein, le directeur du laboratoire, M. Michel Tollenaere, qui m'a initié à l'enseignement et qui m'a aussi soutenu et répondu à mes nombreuses questions. Grand merci à tous ceux qui m'ont permis d'avoir une expérience très intéressante en enseignement, je pense à M. Van-Dat Cung, à Mm Jeanne Duvallet, à M. Fabien Mangione, à M. Jean-Philippe Gayon et à M. Christophe Rapine.

A toute la famille G-SCOP (ex.GILCO), merci pour votre amitié et surtout pour l'ambiance de travail très chaleureuse que vous entretenez. Un remerciement spécial à l'équipe de Back-gammon, je vous souhaite beaucoup de succès dans vos tournois (surtout pour les habituels perdants).

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres de l'équipe SIGMA du LSR. Merci pour les moyens mis à ma disposition qui m'ont permis de réaliser cette thèse. Mes remerciements s'adressent particulièrement à M. Jean-Pierre Giraudin, à Mm Agnès Front et à Mm Manuele Kiesch.

D'autre part, je remercie également les membres du CIH qui m'ont accueillent pendant sept mois dans le bureau d'étude et m'ont offert l'opportunité de découvrir ce que peut être un monde de la conception. Je remercie particulièrement M. Phillippe Rouard, Mm Anne-Marie Poncet et M. Richard Coutenceau du service Informatique au CIH.

Enfin je remercie mes parents et famille à Alger, qui sans leur appui et leur amour je ne serai pas là aujourd'hui. Un grand merci à Onur qui me fait rappeler « qu'aimer c'est se surpasser » et à ma sœur Mimi dite « la menace » qui a su tout simplement être là pour moi.

Khadidja Grebici

Table des Matières

Introduction Générale 10

Partie I. Cadre de la thèse.....16

Chapitre 1 : Processus de conception de produit : définitions et caractéristiques 17

1.1. Terminologie 18
1.1.1 Processus 18
1.1.2 Phase..... 19
1.1.3 Activité 19
1.1.4 Jalon 20
1.1.5 Livrable 20
1.1.6 Produit 22
1.2. Processus de conception amont..... 25
1.2.1. Processus de définition de produit 25
1.2.2 Exemple de modèle processus de définition de produit : modèle processus de définition de produit du bâtiment 28
I.2.3 Processus de conception amont 29
1.3 Propriétés du processus de conception de produit 31
1.3.1 Complexité produit/processus 31
1.3.2 Multidisciplinarité 32
1.3.3. Incertitude..... 34
1.3.4 Itération de conception 35
1.4. Conclusion et Question de recherche 37

Chapitre 2 : Méthodologie de recherche et analyse descriptive d'un processus de conception collaborative au CIH 40

2.1 Méthodologie de recherche 40
2.1.1 Méthodologies de recherche en conception 40
2.1.2 Approche adoptée..... 44
2.2 Description du processus de conception collaborative au CIH..... 46
2.2.1 Projets d'ingénierie hydraulique au CIH..... 47

2.2.2 Organisation d'un projet ou d'une affaire au CIH 48
2.2.3 Grille d'analyse 52
2.2.4 Description du processus de faisabilité d'un projet de conception de produit hydraulique au CIH 53
2.3. Conclusion 67

Partie II : Etat de l'art 70

Chapitre 3 : Collaboration 71
3.1. Collaboration : une action sociale 71
3.1.1 Coordination 71
3.1.2 Coopération 72
3.2 La coordination comme échange d'information entre activités 74
3.2.1 Approche de Krishnan et al. 75
3.2.2 Approche de Loch et Terwiesch 77
3.2.3 Approche de Yassine et al. 77
3.2.4 Approche de Bhuiyan et al. 78
3.2.5 Discussion des démarches basées sur la vision information 80
3.3. Approches d'analyse de la coopération 81
3.3.1 Approches cognitives de la coopération 81
3.3.2 Coopération comme processus de communication 84
3.3.3 Approches ethnographiques de la coopération 86
3.3.4 Discussion des approches d'analyse de la coopération et comparaison avec les approches de coordination 93
3.4 Typologies des systèmes de gestion de la collaboration 96
3.4.1 Systèmes de Gestion des Données Techniques 99
3.4.2 TCAO 101
3.5 Conclusion 108

Chapitre 4. Maturité 112
4.1. Qualité d'un bien/d'une information 112
4.2 Information préliminaire 113
4.2.1 Evolution en amont et Sensibilité en aval 114
4.2.2 Stabilité et Précision 116
4.3 Incertitude 117
4.4 Fiabilité/Confiance de l'émetteur de l'information 120
4.5 Ambiguïté 122
4.6 Structure de l'information 123
4.7 Pérennité de l'information 125
4.8 Confiance 127
4.9 Pertinence 129
4.10 Maturité et niveau d'usage 131
4.11 Complétude 133
4.12 Qualité d'une ressource 133
4.13 Travaux de quantification de la maturité 134
4.14 Quelques exemples d'outils de qualification de l'information de conception 136

4.15 Synthèse 141
Partie III. Cadre Proposé de la collaboration en conception de produit 145

Chapitre 5 : Cadre conceptuel de collaboration en conception de produit 146
5.1 Deux organisations du processus de conception : cadrée et émergente 147
5.1.1 Organisation cadrée 147
5.1.2 Organisation émergente 148
5.2 Modélisation des modes de collaboration dans le processus de conception 150
5.3. Modélisation des objets intermédiaires 154
5.3.2. Catégories d'objets intermédiaires 154
5.3.3 Axes de caractérisations d'un objet intermédiaire 156
5.4. Cadre de diffusion des objets intermédiaires 160
5.4.1 Espaces de travail collaboratif 160
5.4.2 Maturité dans les espaces de travail collaboratif 166
5.4.3 Maturité dans l'espace projet 168
5.4.4 Maturité dans l'espace public 170
5.4.5 Maturité dans les espaces de proximité 171
5.5 Conclusion 173

Chapitre 6. La maturité pour faciliter la coopération dans les espaces de proximité 176
6.1 Besoin de synchronisation cognitive 176
6.2 Besoin de coordination locale 177
6.3 Dimensions supports de la coopération 179
6.3.1 Avoir une vision du processus 179
6.3.2 Identifier les acteurs 181
6.3.3 Situer le problème de conception 183
6.3.4 Caractérisation des objets intermédiaires 186
6.4 Modélisation de l'environnement collaboratif 189
6.5 Principes de la démarche de facilitation de la coopération 192
6.6. Conclusion 197

Chapitre 7 : La maturité pour la gestion de la coordination par le flux d'information dans les espaces projet 200
7.1 Spécification des situations de collaboration par la maturité du flux d'information ... 200
7.1.1 Critères de maturité et degré de dépendance 201
7.1.2 Degré de dépendance vs types de dépendance entre objets intermédiaires 204
7.2 Organisation des activités planifiées par les flux d'information 210
7.3 Stratégies de diffusion des objets intermédiaires critiques 217
7.3.1 Cas de dépendance simple 218
7.3.2 Cas de dépendance couplée et interdépendance 224
7.4 Vers une optimisation de la planification du processus basée sur la maturité des flux d'information 227

7.4.1 Objectifs à atteindre 228
7.4.2 Hypothèses du modèle 228
7.4.3 Paramètres du modèle 229
7.4.4 Liens entre paramètres et objectifs de gestion 230
7.5 Conclusion 234

Partie IV. Mises en œuvre du cadre de la collaboration en conception de produits 236

Chapitre 8 : Prototype d'un outil dédié à la conception collaborative de produits 237
8.1 Principales fonctionnalités 237
8.1.1 Paramétrages des critères de maturités 239
8.1.2 Espaces de travail collaboratif 240
8.1.3 Usage des critères de maturité dans l'espace projet 241
8.1.4 Espace de proximité 243
8.1.5 Définition et usage de la maturité dans l'espace de proximité 246
8.2 Conception et développement du prototype PIQUANT 249
8.2.1 Cas d'utilisation 250
8.2.2 Diagrammes de séquences 253
8.2.3. Modèle conceptuel 256
8.2.4 Développement de l'outil Piquant 257
8.3 Présentation d'un scénario d'utilisation du prototype PIQUANT 258
8.3.1 Présentation du scénario 258
8.3.2 Application 261
8.4 Analyses et conclusion 266

Chapitre 9 : Vers un catalogue de patrons pour la capitalisation des connaissances en conception collaborative 270
9.1. Catalogue des Patrons 271
9.1.1 Présentation générale 272
9.1.2 Formalisme choisi 273
9.2 Patrons du catalogue SGII 275
9.2.1 Patron « Spécifier un SGII » 275
9.2.2 Patron d'analyse : « Identifier points de variabilité » 277
9.2.3 Patrons utilisés dans le patron « Identifier points de variabilité » 281
9.2.4 Patron d'analyse : « Définir processus de développement de produit » 284
9.2.5 Patrons utilisés dans le patron « Définir processus de développement de produit 290
9.2.6 Patron « Définir critères de maturité » 294
9.3. Conclusion 303

Conclusion Générale 306

Bibliographie.....310

Annexes.....322

Annexe 1 Modèles de processus et modèles de produit .324
A.1.1 Principaux Modèles de processus de conception 324
A.1.2 Principaux modèles de produit 328
A.1.2.1 Niveau d'abstraction du produit 328
A.1.2.2 Vision domaine/nomenclatures 330
A.1.2.3 Vision Document (point de vue sur le produit) 332
A.1.2.4 Vision Paramètres de conception 333
A.1.2.5 Modèle de produit selon quatre axes 336

Annexe 2 : Principales installations hydroélectriques 340
A.2.1 Site hydroélectrique 340
A.2.2 Exemples de quelques ouvrages hydrauliques 340
A.2.2.1 Barrage 340
A.2.2.2 Centrale Hydroélectrique 341
A.2.2.3 Conduites forcées 341
A.2.2.4 Turbine 342

Annexe 3 Processus de définition de produit hydroélectrique référencé au CIH 344

Annexe 4 : Sous processus de Faisabilité au CIH 346
A.4.1 Diagramme d'activité UML 346
A.4.2 Principaux paramètres de conception en conception hydraulique au CIH 347

Annexe 5 Tableaux d'estimation des critères de maturit .350
A.5.1 Tableaux d'estimation de la variation et de la sensibilité d'une information 350
A.5.2 Tableau d'estimation de la complétude d'une information 351

Annexe 6 Procédures DSM (Design Stucture Matrix) 352
A.6.1 Algorithme de Lawler 352

Annexe 7 Facteurs de performance du processus de développement de produit 354
A.7.1 Evolution des probabilités d'itération « design version3 et « churn iteration » 354
A.7.2 Etude expérimentale du processus de développement e produit et résultats 354

Annexe 8 Spécifications du Prototype PIQUANT 356

A.8.2 Digrammes de Séquences 356
A.8.3 Diagramme de classe 361
A.8.4 Schémas relationnels 361

Annexe 9 Rubriques d'un patron 364
A.9.1 Rubriques « Interface » 364
A.9.2 Rubriques « Réalisation » 364
A.9.3 Rubrique « Relations » 365
A.9.4 Relations entre patrons 365

Annexe 10 Présentation de l'atelier AGAP 366

Annexe 11 : Catalogue de Patrons du SGII (Système de Gestion des Informations Immatures) 368
A.11.1. Patron utilisé dans le patron « points de variabilité » 368
A.11.2 Patrons utilisés dans le patron « Définir un processus de développement de produit » 370
A.11.2.1 Patron « Décomposer le processus de développement de produit » 370
A.11.2.2 Patron « Renseigner le processus de développement de produit » 373
A.11.2.3 Patron « Modéliser le processus de développement de produit » 375
A.11.2.4 Patron « Exprimer les dépendances » 378
A.11.2.5 Patron « Modéliser les dépendances » 381
A.11.2.4 Patron « Définir le cycle de vie d'une activité » 383

Table des figures 388

Liste des tableaux 392

Introduction Générale

Problématique

Il est communément admis que la conception est une activité collective et donc sociale à laquelle participent plusieurs acteurs issus de différents domaines. De ce fait, des aspects tels que l'interdisciplinarité, la complexité de l'organisation pose des difficultés de collaboration aux acteurs. La confrontation des points de vue, la négociation, l'argumentation, la création de connaissances inter métiers, etc. sont des éléments importants. Outre la nature collective de l'activité de conception, la complexité des produits industriels tels que : les produits aéronautiques, automobile ou hydroélectrique (barrage, centrale, etc.), participe à la complexité des organisations des acteurs impliqués dans le projet. En effet, de multiples partenariats, des sous-traitances, des équipes projet très importantes (une centaine à un millier de personnes) et la diversité culturelle de l'ensemble des acteurs nécessitent la mise en place d'organisations de projets complexes.

Se rajoute à ces aspects, la nature incertaine des projets de conception. En effet, les contraintes du marché mondial de produit ; à savoir la compétitivité, la concurrence de plus en plus présente, la réduction des délais et des budgets de projet, les exigences de qualité de plus en plus élevées, rendent le processus de conception dynamique, de plus en plus difficile à prévoir et dont les données d'entrée sont de plus en plus incertaines. L'enjeu est donc de taille. Il s'agit de partir d'un minimum de cahier des charges (un objectif mal défini, pas de documents techniques annexes descriptifs, etc.) tout en garantissant des délais courts, des coûts réduits et une qualité du produit élevée. Pour permettre l'avancement de l'activité de conception, les acteurs doivent souvent poser des hypothèses sur les informations de conception et utiliser des sources d'information diversifiées. Par ailleurs, souvent dans les processus de conception, notamment dans les phases préliminaires, le degré de liberté des concepteurs est élevé et les coûts de changement sont faibles, ce qui favorise la dynamique de l'évolution des informations.

Tous ces facteurs jouent un rôle direct dans l'incertitude des informations de conception et rendent difficile la réalisation de l'activité de conception.

Par ailleurs, dans le processus de conception les informations échangées/partagées sont l'essence de l'activité de conception. Les informations jouent un rôle primordial dans la représentation du produit en conception, dans l'organisation et dans le déroulement même de l'activité. Parler d'organisation complexe du processus de conception ou d'incertitude revient à parler de l'interdépendance des informations de conception échangées/partagées et de leur incertitude. Ainsi, nous retenons deux difficultés essentielles rencontrées pendant un processus de conception : *l'incertitude et l'interdépendanc*e du flux informationnel. Le caractère dépendant de ces difficultés rend la gestion du processus de conception collaborative insaisissable.

Diverses approches ont été proposées pour comprendre et/ou palier ces difficultés. Quelques travaux se focalisent sur les aspects sociaux, certains considèrent les aspects cognitifs et d'autres se préoccupent de l'aspect organisationnel et préconisent des stratégies de coordination de l'activité de conception, etc.

En outre, plusieurs outils de gestion du processus de conception collaborative sont mis en œuvre, notamment ceux dédiés à la gestion des informations de conception tels que les SGDT (Système de gestion des Données Techniques), ceux dédiés à la gestion de l'organisation des activités du projet de conception, ou ceux dédiés aux supports de la collaboration, tels que les TCAO (Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur).

Plusieurs critiques découlent de l'analyse de ces approches et outils de gestion. D'abord, les difficultés liées à l'incertitude des données et leur interdépendance ne sont pas ou peu prises en compte dans ces approches. Par ailleurs, les approches/outils sont proposés selon des points de vue différents, souvent difficile à considérer conjointement. Par exemple, les outils de gestion des données techniques et les outils de gestion de la planification proposent des fonctionnalités disjointes. Enfin, les approches/outils de gestion s'adaptent au processus de conception prescrit ; « idéal » et non pas au processus de conception effectif.

Objectifs et contributions

Les objectifs de ce projet sont d'analyser le processus de conception collaborative, et de définir des méthodes destinées à spécifier, construire et mettre en oeuvre des systèmes

d'information dédiés à la conception collaborative dans un contexte de grands produits tels que : les ouvrages hydrauliques, les produits aéronautiques, etc.

L'apport principal de ce travail est l'analyse du processus de conception selon une vision « flux informationnel », puisque les difficultés clés du processus relèvent de l'incertitude et l'interdépendance des données échangées. Deux objectifs en découlent de cette recherche ; il s'agit d'organiser le flux informationnel en permettant la diffusion et le partage des informations même incertaines.

Pour atteindre ces objectifs, la recherche a été organisée autour de trois axes de travail :

1. La modélisation et le pilotage des processus collaboratifs.
2. La modélisation des données et la qualification des informations échangées.
3. L'intégration et le partage des données qualifiées dans le processus collaboratif.

Notre hypothèse majeure est qu'il est possible d'améliorer le processus de conception collaborative par la mise en place d'un dispositif de diffusion des informations qualifiées au plus tôt dans le processus. Par qualifiées, nous entendons les informations dont le niveau de *maturité* est évalué et représenté. Nous verrons dans cette thèse que le concept de *maturité* regroupe à la fois l'incertitude et l'interdépendance des informations de conception.

Les contributions majeures de cette thèse concernent :

- un état des lieux, des approches issues de différents domaines de recherche concernant l'analyse et la gestion du processus de conception collaborative (partie II),

- une identification des concepts fondamentaux permettant la mise en œuvre du cadre de la collaboration : les objets intermédiaires, leur maturité, les différents modes de collaboration, en particulier la coordination et la coopération (partie II),

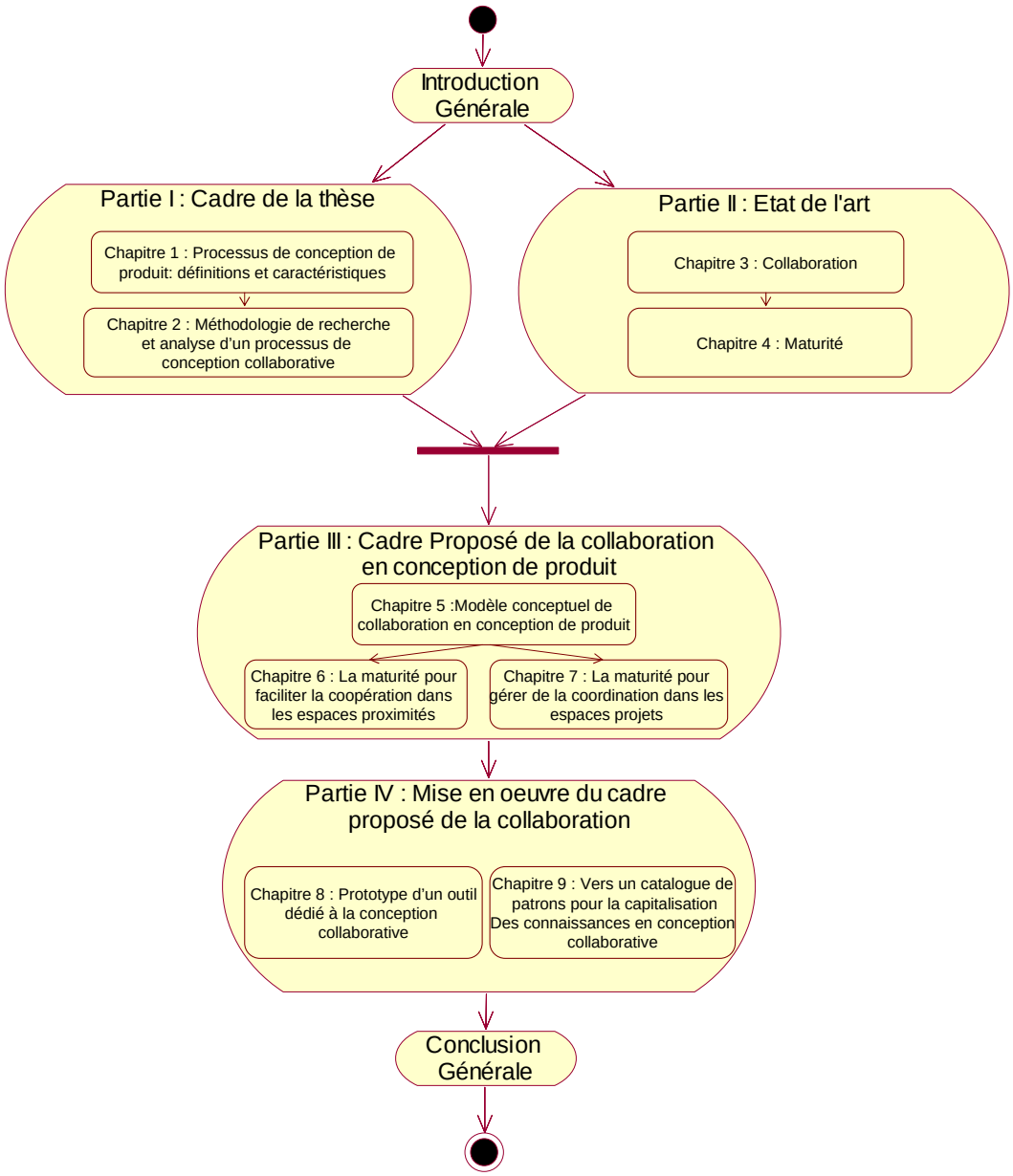
- une modélisation de ces différents concepts afin de permettre leurs instrumentations dans le cadre d'un processus de conception collaborative (partie III),

- une proposition de techniques facilitant les deux modes de collaboration : la coordination et la coopération (partie III),

- une instrumentation, par un prototype de recherche, des différents modèles et fonctionnalités nécessaires pour la réalisation d'un outil de gestion du processus de conception collaborative (partie IV),

- une instrumentation, par une démarche, de capitalisation des différentes connaissances liées aux pratiques collaboratives et leur usage dans l'outil de gestion (partie IV).

Plan de lecture de la thèse



Plan de lecture de la thèse

Ce document est structuré selon le plan ci-dessus, en neufs chapitres répartis sur quatre parties. L'organisation de ces parties suit une logique similaire à celle utilisée dans la méthodologie de recherche proposée dans cette thèse, à savoir, une phase d'identification des besoins, suivie par une phase d'analyse et de caractérisation, ensuite une phase de

modélisation et de spécification est présentée et enfin la démarche est terminée par une mise en œuvre du cadre proposé.

Partie I : Cette partie regroupe les *chapitres 1 et 2* et consiste à décrire le contexte, à la fois industriel et théorique de cette thèse.

Le premier chapitre constitue une description générale du processus de conception de produit et de ses principales caractéristiques.
Le deuxième chapitre est une synthèse des principales méthodologies de recherche identifiées dans la littérature ainsi que le choix et l'application de la méthodologie suivie dans cette thèse. Une description du processus de conception et plus précisément du sous-processus de faisabilité au sein du Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH-EDF) est présentée comme le terrain industriel sur lequel les observations ont été menées.

Partie II : Cette partie regroupe les *chapitres 3 et 4* et correspond à l'étude théorique relative aux différents concepts étudiés dans cette thèse.

Le troisième chapitre porte sur l'étude de la collaboration, des différentes démarches d'analyse et de gestion de la collaboration et des systèmes dédiés à la gestion de la collaboration.

Le quatrième chapitre consiste en un état des lieux des différents critères de qualification de l'information dans différents domaines : sociologique, linguistique, conception de produit, etc. le chapitre se termine par une définition du concept de maturité en conception de produit.

Partie III : Cette partie regroupe *les chapitres 5, 6 et 7* et représente l'ensemble des propositions théoriques avancées dans la thèse. Ces propositions portent sur l'amélioration de la collaboration pendant le processus de conception de produit.

Le cinquième chapitre constitue le cadre conceptuel de collaboration proposé. Il résume les différentes facettes du modèle de processus de conception collaborative, les différents modes de collaboration, les informations échangées en conception collaborative ainsi que leurs caractéristiques principales dont la maturité. Enfin ce chapitre présente un modèle de diffusion des informations pendant le processus de conception produit.

Le sixième et le septième chapitre proposent une amélioration de la coopération et de la coordination, respectivement. Ces propositions reposent en grande partie sur la qualification de la maturité des informations de conception.

Partie IV : Cette partie regroupe *les chapitres 8 et 9* et représente des mises en œuvre du modèle de collaboration proposé dans cette thèse.

Le huitième chapitre propose un prototype de recherche support du modèle conceptuel proposé. L'intérêt de ce prototype est d'illustrer et de tester les différents concepts avancés dans cette thèse.

Le neuvième chapitre constitue une proposition d'une démarche d'analyse et de mise en place d'un cadre de conception collaborative basé sur la qualification de la maturité des informations de conception.

Cette thèse est clôturée par une conclusion générale.

Partie I. Cadre de la thèse

Le but de cette partie est d'introduire le contexte de cette étude qui est le processus de développement de produit, de fixer le vocabulaire associé mais aussi d'identifier les caractéristiques principales de ce processus. Cette caractérisation se fera dans un premier temps (chapitre 1), selon une analyse théorique et dans un deuxième temps (chapitre 2), selon une analyse de terrain industriel. Ces analyses nous révèlerons des besoins de gestion qui seront les bases des propositions avancées dans cette thèse. Nous présentons également la méthodologie de recherche adoptée pour la réalisation du présent travail de recherche. Un état de l'art des méthodologies de recherche en conception est réalisé pour cet effet.

Chapitre 1 : Processus de conception de produit : définitions et caractéristiques

La conception est une activité sociale et collaborative. Elle se déploie dans un contexte dynamique et chaque projet de conception est par définition unique. Cette unicité a deux principales causes. La première concerne la création de produit qui n'existe pas encore. La deuxième porte sur le contexte de déroulement de l'activité de conception où chaque projet de conception se déroule dans un contexte différent et avec des acteurs différents (la nouveauté de l'artefact peut être totale ou partielle). Le contexte varie selon les organisations, les marchés, les stratégies de l'entreprise, les technologies employées, les législations, les connaissances, etc. Cette nouveauté est d'autant plus redoutable quand la taille de l'équipe projet et la diversité des métiers impliqués sont importantes.
Dans ce travail, nous distinguons le modèle de processus du processus effectif. Le modèle de processus représente le processus attendu (que l'activité devrait suivre), alors que le processus « effectif » représente le déroulement réel des activités telles qu'elles sont exécutées par les acteurs.

Dans la littérature de conception, il existe deux approches de recherche pour étudier le processus de conception : l'approche descriptive[1] [Blessing 2004] et l'approche prescriptive[2] [Pahl et Beitz, 1996, Hubka, 1984].

L'approche descriptive décrite par Blessing [Blessing 1994] se base sur l'observation des pratiques effectives et propose des descriptions fines du fonctionnement des organisations. On cite parmi ces approches : l'approche ethnographique [Buccarelli 1988] [Vinck 1999]. Les approches prescriptives proposent des modèles opératoires et produisent des spécifications du processus de conception. Ce sont des méthodes qui ont pour objet de supporter l'apprentissage, de rationaliser le travail, de faciliter la planification des projets, de contrôler et de suivre la conception.

---

[1] Les modèles descriptifs résultent des études portées sur comment la conception prend, effectivement, place. Ces modèles rendent compte des activités des acteurs à un niveau individuel ou inter individuel.
[2] Les modèles prescriptifs suggèrent des modèles de conception qui sont des procédures plus ou moins complexes suivis par les acteurs de conception de manière effective et efficiente. Ces modèles, à quelques exceptions près, donnent une séquence systématique et méthodique des phases ou des activités [Blessing 1994]

Dans la première partie de ce chapitre (cf. §1.1), nous introduisons les différentes terminologies liées au processus de conception. Nous nous basons pour ce faire sur des modèles prescriptifs du processus de conception. Nous exposons également notre modélisation du processus de conception. Dans la deuxième partie de ce chapitre (cf. §1.2), nous présentons les principales caractéristiques du processus de conception « effectif » de produit. Nous nous focalisons sur le processus de conception amont.

1.1. Terminologie

1.1.1 Processus

En ingénierie, un processus est défini comme : « un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie ». Les travaux des sciences de l'organisation et des sciences sociales [Deneux 02] proposent de définir le processus comme une ou plusieurs démarches qui permettent d'analyser, de concevoir, de rétro concevoir ou de refaire les systèmes d'objets. Une démarche est un ensemble de tâches ordonnées avec un déroulement séquentiel ou parallèle. D'autres comme Tichkiewitch [Tichkiewitch et al. 1995] parlent de processus de résolution de problèmes et/ou de création d'opportunités. Il est caractérisé par l'examen de la perception des objets tels qu'ils sont (approche descriptive) et des objets tels qu'ils doivent être (approche prescriptive).

Les définitions du processus ci-dessus ne se veulent pas exhaustives de ce qu'il peut exister dans la littérature, nous les avons choisis car elles conviennent au contexte de notre étude qui est le processus de produit. Nous retenons, de façon générale, la définition du processus de conception suivante :

«Un processus de conception est un ensemble d'activités mises en œuvre, utilisant des ressources humaines et matérielles, permettant la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie, afin de satisfaire des objectifs et permettant d'aboutir à une définition du produit ».

1.1.2 Phase

Dans les travaux de modélisation du processus de conception [Blessing 1994], une phase ou une étape est définie comme étant une subdivision du processus basée sur l'état[3] du produit. Chaque phase correspond à la réalisation d'un ensemble d'activités sous la responsabilité des membres de l'équipe de conception issus de différentes fonctions impliquées dans le processus [Lonchamp 04]. Ullman [Ullman 1992] considère qu'une phase d'un processus implique la mise en œuvre de tâches génériques dont la réussite du déroulement est approuvée par une revue qui marque son achèvement.

La distinction entre les différentes phases du processus est plus prononcée dans la littérature prescriptive que dans la littérature descriptive [Blessing 1994].

Nous définissons une phase de conception comme suit :

« Une phase de conception est un ensemble d'activités, utilisant des ressources humaines et matérielles, permettant la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie, afin de satisfaire des objectifs et permettant d'aboutir à une définition d'un état intermédiaire du produit ».

1.1.3 Activité

Comme pour le processus, différentes définitions de l'activité sont proposées dans la littérature. En conception de produit, une activité est définie comme une subdivision du processus relative au processus de résolution de problème individuel [Blessing 1994]. Cette décomposition est qualifiée de microstructure qui n'est pas suffisante pour la structuration des projets. Pour cette raison les activités sont souvent combinées avec la division en phases afin de décrire comment procéder dans une phase donnée. L'activité peut avoir aussi un caractère social dans la mesure où elle fait intervenir des acteurs ayant des langages, des règles, des objectifs et des contraintes différentes [Bucciarelli 1988]. D'un point de vue systémique, une activité est la transformation d'un objet au cours d'un processus comportant un certain nombre d'étapes ou de phases. Selon ce principe, l'activité est réalisée par des actions ou des chaînes d'actions qui comportent des opérations. L'activité est donc réalisée au cours

[3] La transformation du problème (besoins, spécifications, etc) à une description complète du produit implique différents états du produit : première description du futur produit (spécification), architecture préliminaire du produit (architectural chunks) et description complète du produit.

d'actions individuelles ou collectives, organisées en séquence ou en réseau et guidées par le même objectif.

La définition de l'activité retenue pour notre étude est la suivante :
« Une activité est une microstructure du processus, appartenant à une phase, correspondant à la transformation d'informations en entrée en informations en sortie, via des actions individuelles ou collectives, afin de satisfaire des objectifs donnés. Pour ce faire, l'activité fait intervenir des acteurs ayant des langages, des règles, des objectifs et des contraintes données ».

1.1.4 Jalon

Pendant le processus de conception, afin d'assurer le contrôle et la validation intermédiaire de la solution, un certain nombre de *jalons* ou de *points de gel* de décision sont introduits. En effet, entre deux phases, une revue intermédiaire est introduite afin de différencier la gestion de la coordination des activités (liens entre deux activités dans une même phase), des besoins de gestion du processus en terme de coût, de qualité, de délai et de besoins des activités de la phase suivante (liens entre deux phases du processus). D'après Eger, Eckert et Clarkson [Eger et al. 05] les jalons correspondent soit à des points de « gels durs » (hard freez) ou à des points de *« gels souples »* (soft freez). Les *gels souples* résultent des relations de dépendance entre les objets/activités et correspondent à des décisions telles que : le raffinement du produit, le gel de certaines informations en conception, etc. Des gels durs sont imposés dans le processus de conception. Ils correspondent à des décisions telles que : la vérification des besoins du client, le respect des contraintes outils, etc.

Ainsi un jalon dur correspond à l'achèvement de toutes les activités d'une phase. La phase est finie une fois que ce jalon atteint. Cependant, il est considéré souple si certaines activités d'une phase ne sont pas encore achevées. L'exécution de la phase continue jusqu'au prochain jalon dur. Le jalon souple correspond à une validation « conditionnelle » de la phase.

1.1.5 Livrable

Pendant le processus de développement de produit, les acteurs produisent des documents de contractualisation, des dossiers d'étude de faisabilité, des modèles CAO, des prototypes, le produit physique, etc. Ce sont les artefacts [Engeström et al. 1993] qui servent à la fois de vecteur de communication et de représentation du produit mais aussi de mémoire du projet.

Les livrables sont aussi les documents de réglementations, d'autorisations, etc. requis pour la satisfaction du contrat passé avec le client, tel qu'un dossier de permis de construire, un CCAG[4], etc.

Ainsi, dans notre étude, *« les livrables sont les documents attendus à des jalons durs et qui représentent les données de sortie d'un processus de conception de produit ».*

En adoptant les quatre concepts de processus, d'activité, de jalon et de livrable, nous représentons, à l'aide du formalisme UML[5] [Booch et al. 1999] le modèle générique du processus produit suivant :

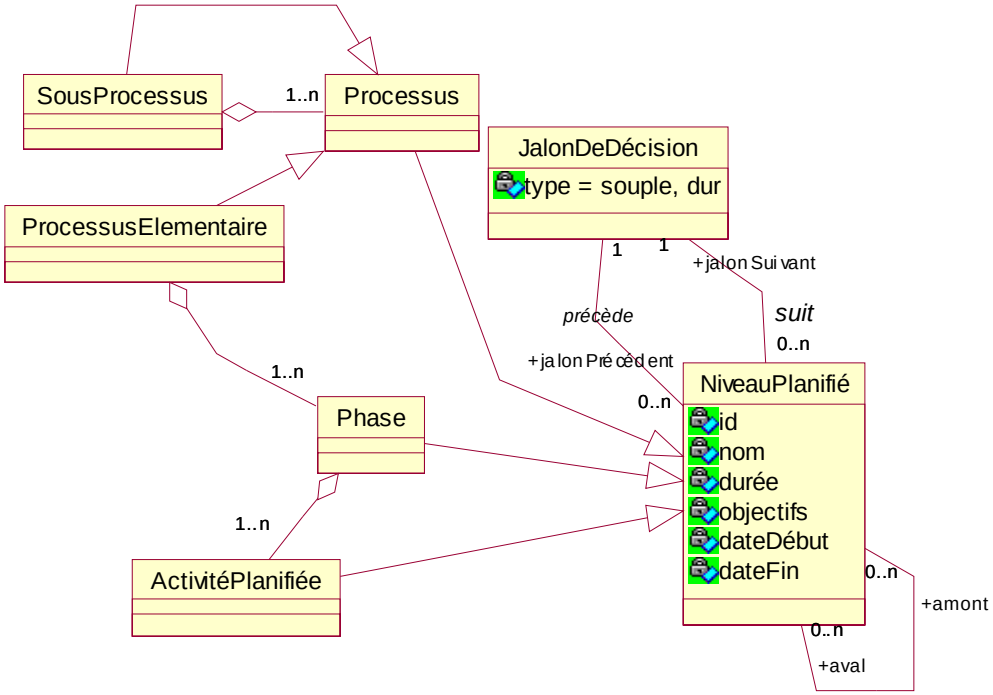


Figure 1 Modèle de processus de conception générique

Dans le modèle générique, le niveau planifié représente toute la décomposition du processus (sous processus, phases et activités) réalisée au début du projet. La différence entre une phase et un processus (sous processus) est que ce dernier produit des livrables alors qu'une phase selon qu'elle soit terminée par un jalon dur ou pas, produit des livrables ou des documents intermédiaires. Un sous processus est un ensemble de phases entre deux jalons durs.

Dans la figure 1, nous représentons l'ensemble des activités planifiées, des phases et processus par *« NiveauPlanifiée »*. Cette spécification est due au fait que certaines activités sont prédéfinies, comme celles qui constituent le modèle de processus planifié (c'est le cas du

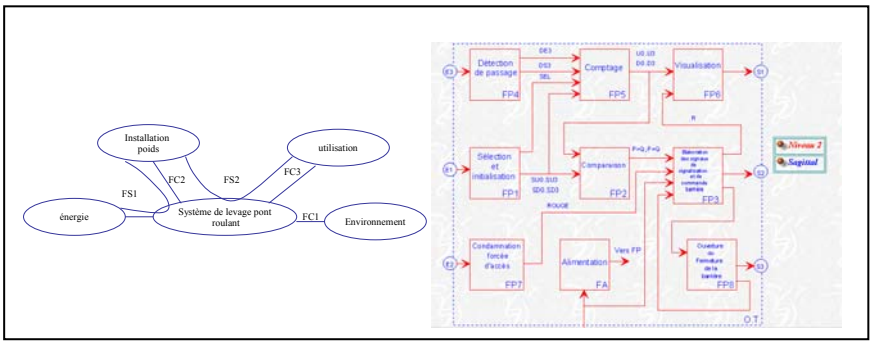
[4] Cahiers des Clauses Administratives Générales
[5] Unified Modelling Langage.

modèle ci-dessus), et d'autres activités sont non identifiables a priori, émergent selon les besoins du projet (cf. §5.1.2).

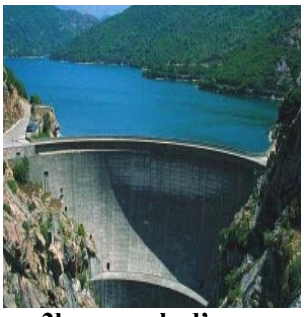
1.1.6 Produit

Le terme 'produit' prend différents qualifiants. On parle d'exemplaire de produit, de produit générique, de famille de produit, de produit de base, de produit modèle, de type de produit, de version de produit, etc. Cela dit, le produit peut être qualifié de manières diverses et variées selon l'objectif de la description.

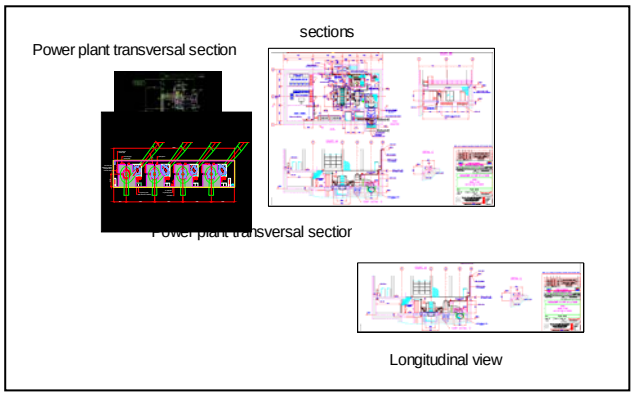
En effet, un produit est décrit selon la phase dans laquelle il est considéré. On identifie différents niveaux d'abstraction du produit : produit concept ou produit générique, type de produit et produit physique (figure 3).



2a- Exemples de nomenclatures (fonctionnelle et technologique)



2b- exemple d'un Produit physique



2c- Exemples de documents (Plans CAO)

Figure 2 Quelques exemples de représentations du produit

A part le produit physique (figure 2b), il s'agit de modèles représentatifs du produit ou encore de produits virtuels [Gzara 00] résultats des phases de développement.

En fonction de la phase mais également du métier de l'entreprise ou du service considéré, le produit est perçu selon différents points de vue ou nomenclatures (figure 3) qui déterminent la nature des éléments de structuration du produit. Ainsi, lors de l'expression fonctionnelle du besoin, le produit est abordé en terme de fonctions (figure 2a). Durant la conception détaillée, il est défini au moyen d'entités (ou organes), de composants, etc. Par ailleurs, le découpage organique (ou structurel) d'un produit par une équipe du bureau d'étude s'effectue différemment de celui effectué par une équipe de fabrication.

Quelque soit le niveau du produit (générique, type ou physique), ce dernier possède un cycle de vie dans lequel il évolue et passe par différents états. Durant tout son cycle de vie, différentes données ou informations sont attachées au produit permettant ainsi de le décrire ou de le définir. La majorité de ces informations sont consignées dans des *documents* (figure 3) tels que : les cahiers des charges, les plans (figure 2c), les schémas, les fichiers CAO, etc. Une description plus détaillée du modèle de produit est donnée dans l'annexe 1.

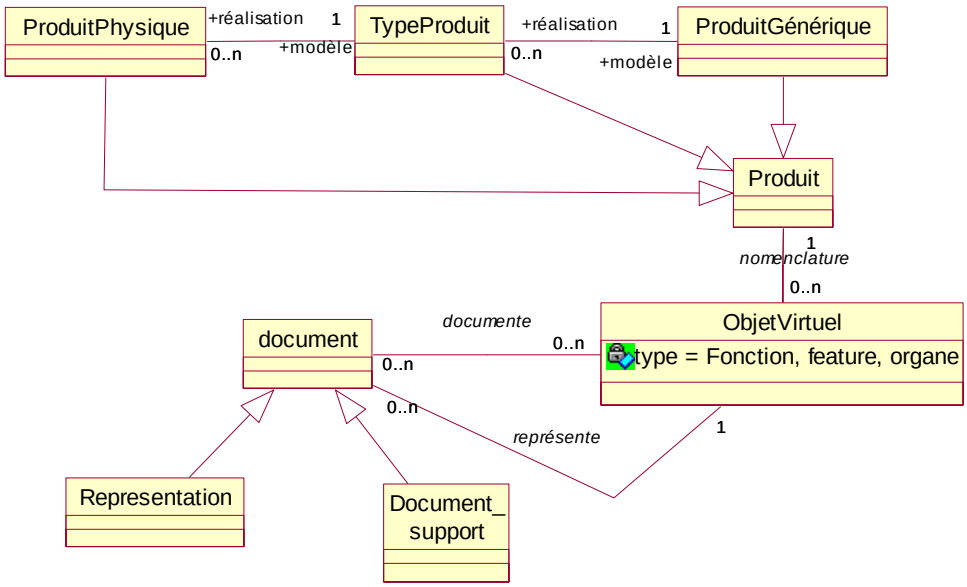


Figure 3 Modèle de produit générique

On distingue deux grandes familles de produits : les produits en grande série, et les produits uniques. Chacun de ces produits correspond à une méthode de définition des besoins et à une approche de production donnée. Dans le cas de produits de grande série, il s'agit généralement de produits tels que : l'automobile, les PC (ordinateurs), etc. Ces produits répondent aux besoins du marché. Ces besoins client sont récoltés selon des méthodes de recensement et d'analyse du marché. La méthode de production de ces produits est une

production en série. Au contraire, le produit unique répond à un besoin spécifique exprimé par un client donné. Wortmann [Wortmann et al. 1997] désigne ces produits par *« Customer Driven Manufacturing ».* Un seul exemplaire du produit est réalisé. On cite comme exemples de produits uniques : les ouvrages hydrauliques, les produits architectures (en général), les satellites, les paquebots, etc.

Ainsi, les analyses faites sur ces deux familles de produits [Wortmann et al. 1997] [Helms 02] révèlent trois différences majeures:

- Les données d'entrée pour les produits en grande série sont les résultats d'une prospection du marché, alors que pour les produits uniques, les données d'entrée sont des spécifications (besoins spécifiques) du client.

- Le processus de développement de produit unique est rythmé par des validations du client des solutions qui lui sont proposées. Ce qui n'est pas le cas du produit en grande série.

- L'analyse de rentabilité en avant projet d'un processus de produit unique est essentielle pour conquérir le client[6]. Bien que cette étude soit importante en avant projet pour le produit en grande série, elle n'est pas suffisante pour contractualiser avec le client. Un lancement sur le marché tardif par rapport à la concurrence implique la perte du client.

- Dans le cas de produit en grande série, l'investissement sur les lignes de production est important afin de réaliser une production de qualité, rapide et la moins chère possible. Ce qui implique une grande attention sur le processus de production pendant tout le processus de développement. Cependant, dans le cas d'un produit unique, le développement est plus porté sur le produit et non pas sur le processus de production puisque ce dernier est produit en un seul exemplaire. Il n'est pas nécessaire, de penser aux lignes de production afin de produire un volume important. Par conséquent, l'intérêt dans ce cas, est porté sur la conception de produit que sur la conception du processus de production.

Cela dit, ces différences n'ont aucune incidence sur les caractéristiques du processus de développement de produit que nous détaillerons dans la partie 1.3 ci-dessous. Dans nos travaux, nous ne faisons pas la différence entre ces deux types de produit.

[6]Le processus d'avant projet est, dans le cas idéal, finalisé par une contractualisation avec le client. Cette contractualisation dépend de l'analyse de performance du projet effectuée pendant ce processus.

Par ailleurs, la littérature de conception distingue le processus de conception routinier du processus de conception de produit *nouveau*. Le terme nouveau est souvent assimilé à un produit innovant. Booz [Booz et al. 1998] définissent la nouveauté selon deux dimensions : nouveauté pour l'entreprise et nouveauté pour le marché. En fonction de ces deux dimensions, six types de nouveaux produits sont définis. Parmi ces produits nouveaux, on distingue le produit innovant [Hatchuel et al. 04] qui est considéré comme «nouveau pour le monde des produits», le produit raffinement de produit existant, le produit nouveau pour l'entreprise, etc. Le cas du développement de produit hydroélectrique, par exemple, s'inscrit dans une nouveauté par rapport à l'entreprise, où il s'agit d'améliorer des produits existants pour pouvoir les adapter au site hydroélectrique concerné.

Nos observations concernant les produits nouveaux dans le contexte de production hydroélectrique concordent avec le constat de Cooper [Cooper 1993] concernant les produits uniques. L'auteur avance le fait que ces produits sont des « additions à des produits existants » ou des « améliorations de produits existants ». Ce qui n'est pas toujours le cas pour les produits en grande série [Cooper 1993].

1.2. Processus de conception amont

Dans cette partie, nous commençons par présenter le processus de définition de produit dans sa globalité (§1.2.1). Ensuite nous nous focalisons sur une partie de ce dernier qui est le processus de conception amont (§1.2.2).

1.2.1. Processus de définition de produit

La majorité des travaux de modélisation du processus de définition de produit dans le domaine de conception manufacturière propose une représentation en phases ou en étapes (Cf. Annexe 1). En général, quatre sous processus principaux sont distingués pour la définition d'un produit [Blessing 1996] (figure 4).

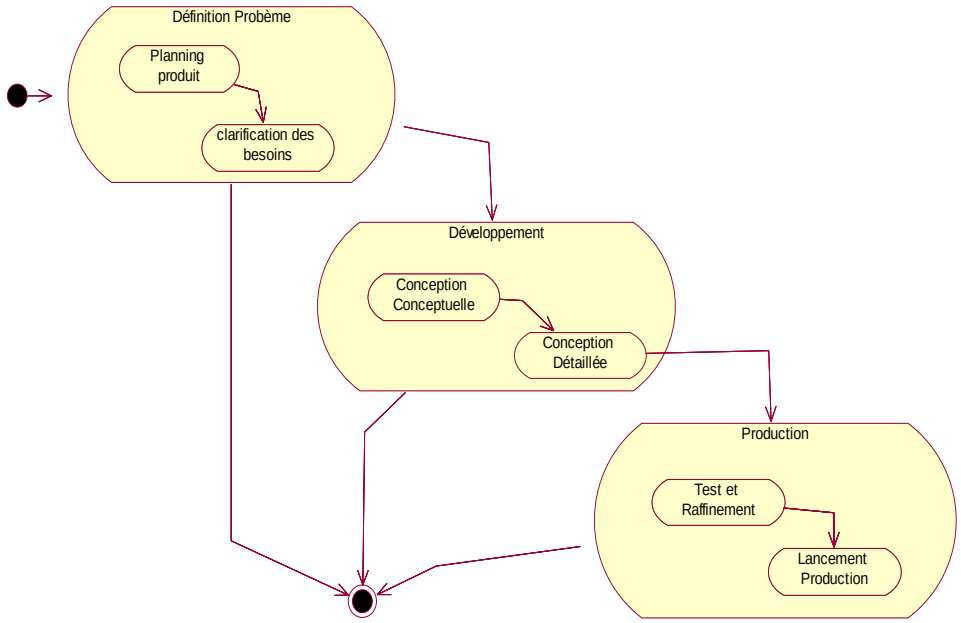


Figure 4 Etapes principales du modèle de processus de définition de produit

Définition du problème

L'importance du sous-processus de définition du problème est avancée par tous les auteurs, bien qu'elle soit exprimée de différentes façons. Les modèles qui adoptent une vision large du processus de développement de produit [Ulrich et Eppinger 01], débutent par la phase de planification ou de « planification du produit ». Pendant cette phase, il s'agit d'identifier les objectifs et stratégies de l'entreprise en terme de marché visé, de contraintes environnementales, d'hypothèses, etc.

La définition de problème est aussi caractérisée par la phase de formulation du problème (les besoins client), d'identification des idées initiales du produit, et de définition des besoins commerciaux.

Les modèles de processus, qui se focalisent sur le processus de conception technique, débutent à partir des résultats du processus de définition du problème. Ces phases préliminaires sont désignées comme une abstraction par les modèles prescriptifs orientés problème, et comme une analyse des idées de produit initiales et d'identification des problèmes potentiels par les modèles prescriptifs orientés produit [Blessing 1996].

Conception conceptuelle

Le sous processus de conception conceptuelle est considéré comme étant parmi les processus le plus difficile à réaliser pendant le travail de conception [Hubka 1984] [Blessing 1996]. Pendant ce processus, la différence entre les deux points de vue problème et produit est évidente. En effet, d'après une vision orientée problème, le sous processus de conception conceptuelle consiste à abstraire les spécifications du problème et en déduire au fur et à mesure les concepts produit. Dans la vision orientée produit, il s'agit d'analyser et de clarifier au fur et à mesure les idées sur le produit qui ne sont pas explicitées dans la vision orientée problème [Blessing 1996]. Les principales informations produites pendant ce sous processus concernent les concepts alternatifs du produit. Un concept représente une forme, une fonction ou une caractéristique du produit. L'ensemble de ces concepts est accompagné de spécifications, d'analyse des produits compétitifs et d'évaluation économique du produit.

Conception détaillée

Il s'agit dans ce sous processus de partir des concepts produits via l'esquisse jusqu'aux plans finaux décrivant la totalité du produit (des assemblages jusqu'aux composants du produit). Les informations principales produites, correspondent à la géométrie du produit, à ses matériaux, à ses comportements mais aussi à la méthode de production et aux coûts inhérents. Dans certains modèles [Ulrich et Eppinger 01] entre la conception conceptuelle et la conception détaillée, il y a des phases supplémentaires qui consistent à élaborer l'architecture du produit et la décomposition du produit en sous systèmes et composants. Le schéma d'assemblage est souvent défini à la fin de ces phases.

Production

Ce sous processus est souvent décomposé en deux phases ; la phase de tests et de raffinement (*test and refinement*) et la phase de lancement de production (*production ramp-up*).

La phase de tests et de raffinement porte sur l'évaluation des versions de pré production du produit. Un prototype est souvent produit. Ce dernier sert à vérifier si le produit va fonctionner comme il a été conçu et si le produit satisfait bien les attentes du client. Une version *beta* de ce prototype est ensuite produite, elle correspond à des tests plus poussés effectués par les acteurs du bureau méthode et du bureau de fabrication (en cas de produit

manufacturier). Ces tests sont aussi effectués chez le client dans son environnement et ont pour but de répondre aux questions sur la performance et la fiabilité du produit[7].

Pendant la phase du lancement de production, le produit est réalisé selon le système de production mis en œuvre dans les phases précédentes (ou le planning de construction dans le cas de produit architectural). Des évaluations supplémentaires sont effectuées avant de fournir le produit aux consommateurs. La transition de la mise en production à la production se fait généralement de manière graduelle [Ulrich et Eppinger 01].

Nous notons que le dernier sous processus (production) constitue l'un des éléments de différenciation entre la conception de produit unique et la conception de produit en série (cf. §1.1.6).

1.2.2 Exemple de modèle processus de définition de produit : modèle processus de définition de produit du bâtiment

Notre cas d'étude s'inscrit dans le domaine d'ingénierie des produits architecturaux hydroélectriques (barrage, centrale hydroélectrique, passe à poisson, etc.). La question posée est de savoir si les modèles de processus des produits architecturaux sont différents des modèles de processus de produits manufacturiers. De façon générale, on peut dire que les modèles proposés dans ces domaines se rapprochent beaucoup. En effet, on retrouve, de manière générale, les quatre sous processus cités ci-dessus. Par exemple, Bobroff [Bobroff 1993] proposent une décomposition du modèle de processus en :

- *Pré-projet* : Ce sous processus correspond aux activités d'identification des besoins du client, de conception des besoins techniques, d'étude de faisabilité ainsi que d'estimation du programme de financement du projet. Ce processus est comparable au sous processus de *définition du problème* et de l'ensemble des besoins dans l'ingénierie manufacturière.

- *Pré-construction* : Ce sous processus correspond aux activités de conception allant de la conception sommaire à la conception détaillée et à la coordination entre la conception, les acquisitions (matériaux, matériel de construction, etc.) et le financement. Ce qui est comparable aux sous processus de *conception conceptuelle* et de *conception détaillée* dans la conception manufacturière.

[7]Dans le cas de produit hydroélectrique, il s'agit de compléter les plans de réalisation et de finaliser le planning de la construction.

- *Construction* : Ce sous processus représente l'élaboration de l'ouvrage et des documents qui lui sont relatives (plans de réalisation).

- *Phase post-construction* : Une fois la construction achevée, des opérations, telles que l'élaboration des plans réels de l'ouvrage et les tests sur les installations, sont lancées. A la fin de cette phase l'ouvrage est reçu par le maître d'ouvrage. Des opérations de maintenances sont ensuite programmées.

Les deux derniers sous processus (*construction et post-construction*) sont comparables aux sous processus de *mise en production* et de *production* pour le produit manufacturier. Dans le chapitre 2, nous détaillerons un exemple de modèle de processus de produit architectural, qui est le processus de définition de produits hydroélectriques au CIH (Centre d'Ingénierie Hydraulique).

I.2.3 Processus de conception amont

Selon la décomposition du processus de produit présenté dans la partie précédente, les phases de développement (appelées aussi phases de conception) concernent la définition du problème, la phase conceptuelle et la conception détaillée. Cependant, cette délimitation s'avère une tâche loin d'être simple (voir l'analyse de Midler concernant ce point dans [Midler 1993]).

Notre vision du modèle de processus de conception de produit s'accorde avec la vision de Ulrich et Eppinger [Ulrich et al. 01] sur le fait que ce dernier est un système de raffinement d'information (*information processing system*). Le processus commence par l'identification des objectifs corporatifs, des capacités technologiques, des capacités organisationnelles, des besoins client, etc. et produit des spécifications, des concepts, et une conception détaillée du produit. Le processus de conception est terminé quand toutes les informations requises pour la production (ou la réalisation) du produit sont créées et communiquées.

Avec cette vision, nous considérons l'ensemble des sous processus : définition du problème, phase conceptuelle et conception détaillée comme étant le processus de conception de produit. Les deux premiers sous processus (définition du problème et phase conceptuelle) forment le processus de conception amont.

Notre intérêt pour le processus de conception amont s'explique par l'importance des décisions qui y sont prises : « *Pour un produit typique, 75% des coûts de fabrication du produit sont commis à la fin de la phase conceptuelle du processus de conception* »[8] [Ullman 1992].

Plusieurs auteurs [Midler 1993] [Simones 1998] considérent que « *plus les problèmes sont détectés tardivement dans le processus de développement plus les itérations sont longues et fréquentes et par conséquent les retards sont importants* »[9] [Simones 1998] (in [Helms 02]). Aussi, plus tardive est la détection d'un problème, moins grand est le degré de liberté disponible pour résoudre le problème efficacement et à moindre coût [Midler 1993]. D'après Ullman [Ullman 1992] Midler [Midler 1993], le taux d'acquisition de la connaissance sur le problème de conception augmente avec le temps, dans le même temps l'incertitude et le degré de liberté sur le restant du projet diminue (figure 5).

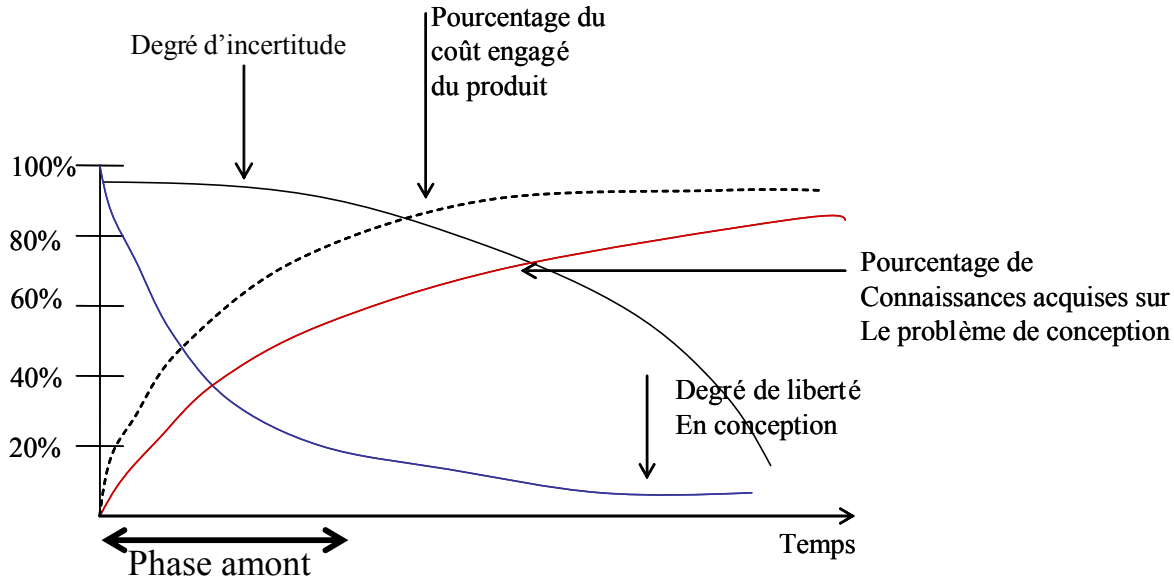


Figure 5 Croissance du taux de connaissance et de la réduction de l'incertitude dans le processus de conception [Ullman 1992] [Midler 1993]

D'après la figure ci-dessus, il s'agit de remédier aux problèmes au plus tôt dans le processus de conception, c'est-à-dire pendant le processus de conception amont. Nous montrons dans la partie suivante, que ces problèmes correspondent aux caractéristiques du processus de

[8] *For a typical product, 75% of the manufacturing cost is committed by the end of the conceptual phase of the design process.*
[9] *Later a problem is detected in the project, the longer the iteration and hence the delay »*

conception de produit. Améliorer le processus de conception revient à gérer ces caractéristiques au plus tôt, c'est-à-dire pendant le processus de conception amont.

1.3 Propriétés du processus de conception de produit

1.3.1 Complexité produit/processus

Un système complexe peut être défini comme un réseau d'éléments interdépendants, chacun portant ses propres fonctions, et dont les interactions conduisent à déterminer la structure et les performances du produit final. Cependant, cette définition ne prend pas totalement, en compte certaines contraintes inhérentes aux projets associés au développement d'un produit complexe.

D'une part, la complexité technique des produits développés impose certaines relations de précédence entre les activités et implique une structure complexe du processus. En effet, les interactions entre les activités sont, en partie, dictées par le nombre d'interfaces (techniques) possibles entre les différents composants. Ainsi toutes les activités de conception ne peuvent pas être exécutées de manière parallèle sans engendrer des risques majeurs. Par exemple : engager la définition des groupes turbines (dimensions, poids, orientation, connexion, etc.) quand le concept d'usine en voûte est en cours de développement peut générer des coûts exorbitants.

D'autre part, un produit complexe implique aussi une organisation complexe du processus de développement de par le nombre important des intervenants, la disparité de leurs connaissances, de leurs compétences et de leurs cultures, etc. Ce qui correspond à une coordination entre les membres de l'équipe fort complexe où chaque métier doit appliquer ses propres contraintes en tenant compte d'une multitude de contraintes des autres métiers. Exemple : les projeteurs en génie civil, compte tenu de la topographie, de la géologie du terrain et de l'hydrologie de la région, proposent une implantation et un pré dimensionnement des ouvrages nécessaires au bon fonctionnement hydraulique. Ces acteurs doivent tenir compte de contraintes électromécaniques, telles que les caractéristiques techniques des installations (puissance, dimensions, poids, etc.), les contraintes de contrôle commande, les contraintes environnementales, etc.

Un autre aspect de la complexité du produit, lié au nombre important de métiers et de connaissances mobilisés sur le produit, est l'ensemble important des représentations produit. En effet, différentes représentations peuvent décrire une même caractéristique du produit pour répondre aux différentes vues, c'est à dire aux besoins du cycle de vie du produit[10] et aux différents points de vue des différents métiers.

Donc on parle à la fois d'un problème d'interface technique mais aussi de « voisinage » des acteurs (ou métiers) [Vinck 2003] devant interagir en négociant, en argumentant leur besoins et en validant leurs choix sur l'ensemble des spécifications et des représentations du produit. Il y a autant d'interactions entre les membres de l'équipe de conception qu'il y a d'objets en interaction.

D'autres types de complexité ne sont pas cités ici, par exemple, la complexité contractuelle du projet et la complexité de la forme du produit. Bien que ces formes de complexité soient importantes, le but de cette partie est de dégager les caractéristiques de la complexité liées à la fois aux représentations et à l'organisation des métiers.

Nous avons choisi d'étudier cette complexité d'un point de vue sociotechnique. La dimension de la « multidisciplinarité » représente un élément important dans l'organisation complexe du processus de développement de produit.

1.3.2 Multidisciplinarité

La conception de produit implique une multitude de métiers qui s'engagent dans le développement de ce produit : des concepteurs (mécanicien, génie civil, électricien, etc.), des ingénieurs calculs, des commerciaux, des préparateurs méthode, etc.

La multidisciplinarité dans les projets de conception de produit a préoccupé un bon nombre de chercheurs de disciplines diverses : science cognitive [Darses 1997], science de l'organisation [Clark et Fujimoto 1991], système d'information, etc. Tous cherchent à caractériser et gérer les situations d'interactions dans les équipes multidisciplinaires.

Pour décrire la multidisciplinarité en équipe projet, nous nous appuyons sur les travaux sociotechniques de Mer [Mer 1998]. D'après cet auteur, les différents métiers intervenant dans la conception se résument à des *mondes* ou à des *disciplines* qui se côtoient et qui

[10]Une forme peut être décrite par un solide pendant la conception sommaire ou par un maillage pendant l'étude détaillée.

agissent sur le produit par des actions fondées sur des objectifs, des enjeux, des valeurs et des points de vue. Les acteurs partagent ainsi, dans un monde, *des représentations*, des *conventions* et des *outils*. Les représentations sont les différents modèles, informations, documents, etc. portant sur le produit. Les conventions sont l'ensemble des connaissances partagées par les individus d'un même monde. Par exemple, les ingénieurs méthode et les ingénieurs fabrication ont tous une connaissance des moyens et des outils de fabrication.

Ces mondes sont appelées à se rencontrer et donc à *coopérer*. C'est là que rentrent en jeu les différentes méthodes de caractérisation des interactions entre les mondes de la conception.

Par ailleurs, Finger [Finger 1995], Jeantet [Jeantet 1998] et Vinck [Vinck et al. 1995] préconisent que l'interaction entre les différents acteurs est caractérisée par les artefacts qui sont produits et qui évoluent tout au long du processus de conception. Dans ce cadre, des disciplines qui coopèrent sont caractérisées par :

- *le partage d'objets intermédiaires*[11] (cf. §3.3.3). Nous verrons que le rôle de ces objets consiste en un vecteur de communication et de médiation entre les acteurs de la conception et ce, sous certaines conditions[12] [Boujut et al. 02].
- *Le partage de règles communes*. Certaines de ces règles peuvent être connues et spécifiques à un métier. Le plus souvent de nouvelles règles sont produites, appelées règles *inter métier* [Boujut 01]. Un exemple de règle commune entre le métier du génie civil et le métier électromécanique est que plus la largeur de l'usine hydroélectrique est importante, plus la vitesse d'écoulement dans les conduites est faible et plus rare sont les problèmes de maintenance (cf. chapitre 2).
- *Le partage des connaissances* technologiques contextuelles et locales. Les règles métier ne possèdent pas toujours un caractère universel et reproductible : des acteurs méthodes remettent en cause la cotation fonctionnelle ; des acteurs d'études modifient des gammes d'usinage, etc.

Les objets intermédiaires et les connaissances ont pour but de pousser les acteurs à exprimer des règles afin d'expliciter leurs choix ou défendre leurs positions. La création de nouvelles

[11]Objet intermédiaire entre différents acteurs et entre différentes phases
[12]Objets échangés entre acteurs de conception caractérisés par une proximité métier, c'est-à-dire : un partage de connaissances, de représentations, de conventions, etc.

règles, implique, à chaque fois, des savoirs d'interface[13] [Finger 1995]. Ces derniers permettent à un acteur d'une discipline d'intervenir dans le champ d'une autre discipline.

Cependant, l'interaction entre les différents métiers n'est pas toujours réussie. En effet, tous les objets intermédiaires, les règles et les connaissances ne sont pas partagés. Une règle métier, par exemple, ne suffit jamais en elle-même. Elle doit toujours faire l'objet d'une interprétation, d'une traduction par son utilisateur. Il existe au sein des équipes multi métiers de nombreux savoirs hétérogènes à partir desquels il est difficile de constituer un ensemble de règles communes. Le caractère dynamique des savoirs d'interface ne facilite pas l'intégration.

D'un point de vue organisationnel, les interactions entre les différentes disciplines sont abordées dans un cadre d'orientation, de planification et de structuration de la conception afin d'atteindre les objectifs de coût, qualité et délai. L'organisation des équipes repose sur une division du travail imposant en retour une coordination des activités qui améliore la performance et minimise les risques ou les conflits [Finger 1995].

1.3.3. Incertitude

L'incertitude en conception amont est en partie due aux estimations de la consommation, à la disponibilité d'une nouvelle technologie, aux aléas de l'environnement (la géologie du site), etc. mais l'incertitude est une partie intégrante du processus de conception [Antonsson et al. 1995].

En effet, la conception est présentée comme un processus de raffinement du modèle de conception. Le raffinement concerne soit le remplacement d'une information abstraite par une autre plus concrète (le passage des fonctions aux concepts) soit l'addition de détails (informations supplémentaires sur les fonctions, les concepts, les interactions entre les lots, etc.) soit le choix entre plusieurs alternatives (deux types d'emplacement d'un batardeau qui correspondent soit à une taille d'usine de 61 m de large, de 200 m de long et de 13m de haut soit à une taille de 57 m de large, de 200 m de long et de 13 m de haut). L'incertitude peut être due aussi au remplacement d'une information approximative par une autre plus exacte. Par exemple, la puissance installée est une valeur de l'énergie produite par les turbines. Elle est donnée sous forme d'intervalle [21KWh, 25 KWh] qui est de plus en plus petite à chaque

[13]Ce sont l'ensemble des savoirs créés au fur et à mesure que de nouveaux problèmes surgissent à l'interface des métiers. Ces savoirs ont donc un caractère hybride.

fois qu'on affine la valeur de la hauteur de chute ou qu'on a plus de détails sur le type de machines à installer.

Outre le fait que l'incertitude soit une caractéristique intrinsèque du processus de conception, nous avons vu (§1.3.1 et §1.3.2) que la complexité et la multidisciplinarité des équipes projet peuvent induire des organisations complexes. Cette organisation complexe ainsi que les contraintes de délai et de coûts, font que les acteurs doivent communiquer des informations encore incertaines que nous qualifierons d'information préliminaire.

1.3.4 Itération de conception

Dans le paragraphe précédent, nous avons abordé l'incertitude qui implique souvent des changements et des révisions des hypothèses, des choix, etc. des raffinements ou des modifications de la conception. Cela induit souvent des itérations en conception.

Les managers, souvent pour contrôler les coûts, les délais et la qualité, luttent contre les itérations. Cependant, les itérations peuvent être dans certains cas encouragées. En effet, Clausing [Clausing 1994] identifie deux sortes d'itérations liées directement à l'activité de conception ; les itérations créatives et les itérations de dysfonctionnement. Les itérations créatives sont celles attendues révélatrices d'un processus de raffinement désiré. Dans ce cas, il est impossible de suivre de manière simultanée plusieurs alternatives de conception. Plusieurs itérations sont nécessaires afin que l'idée évolue et les alternatives de conception se dessinent pour qu'enfin le choix se fasse et la solution finale de conception soit déterminée.

Les itérations de dysfonctionnement sont inattendues, elles peuvent rallonger fortement le processus de conception. Ce type d'itération implique un travail supplémentaire qui est dû à des changements liés aux problèmes de fabricabilité, de maintenance du produit, ou à des informations supplémentaires telles que des besoins additionnels du client. Par conséquent, les acteurs de la conception doivent réviser leurs activités en prenant en compte ces changements. Par exemple, dans un projet d'implantation d'une passe à poisson, un changement surgit sur l'emplacement des palplanches[14] (dû à la découverte de faille géologiques). Ce dernier induit des décalages de l'emplacement de l'usine, et conduit à plusieurs modifications de la hauteur de chute et enfin au re-calcul du profil hydraulique. Cet exemple représente un cas typique d'itération de dysfonctionnement.

[14]Les palplanches représentent les parois qui forment le chemin par lequel les poissons traversent le barrage en toute sécurité.

Les itérations créatives sont fortement présentes dans les phases amont de conception innovante. Les itérations de dysfonctionnement sont présentes dans tous les types de conception (innovante ou routinière) et a fortiori dans les phases amont. Contrairement aux itérations créatives, les itérations de dysfonctionnement ne rajoutent pas de la valeur mais des coûts supplémentaires.

Un des objectifs de notre travail est de réduire les itérations de dysfonctionnement liées à l'incertitude des données de conception (cf. §7.3).

Safoutin [Safoutin 1998] préconise que les responsables des projets doivent être capables de reconnaître les différents types d'itérations. C'est pourquoi il propose de les classer selon divers critères tels leurs échelles, leurs rôles ou leurs origines. L'origine des itérations de dysfonctionnement représente un problème qui préoccupe l'ensemble des chercheurs en sciences de la gestion. Trois causes principales d'itération sont identifiées [Clark et Fujimoto 1991] [Krishnan et al 1997] [Browning 1998] :

- les activités antérieures causent des changements sur les données d'entrée (le résultat d'une itération provoque souvent des remaniements sur les besoins préalablement établis),

- les activités concourantes ou interdépendantes imposent un compromis sur les hypothèses de travail et sur les spécifications originelles,

- les activités postérieures amènent de nouvelles informations lors de la découverte d'erreurs ou d'incompatibilité.

Comme le précise Browning [Browning 1998] ce sont souvent l'incertitude et les itérations qui portent la criticité d'un processus de développement de produit car elles peuvent être une barrière pour la réduction des délais de développement. De tels aspects peuvent représenter des risques majeurs sur la planification.

L'ensemble des caractéristiques du processus de conception cité ci-dessus engendre d'autres difficultés dans le processus. L'*interdépendance* des activités de conception [Brown et al. 1995] est liée à la fois à l'aspect multidisciplinaire et aux nombreuses interfaces techniques entre les composants du produit. Aussi l'incertitude et l'interdépendance ne sont pas des facteurs indépendants. L'interdépendance est la conséquence de l'existence de conflit dans le flux d'information pendant le processus de conception. Cela veut dire qu'il n'y a pas d'ordre évident suivant lequel les activités peuvent être réalisées. Rompre cette interdépendance

signifie poser des hypothèses sur la valeur de certaines informations qui sont inconnues. Ce qui implique l'incertitude et les risques d'itération dans le processus de conception.

Une conséquence de l'incertitude est le risque. En effet, les risques sont définis comme des événements indésirables, tels que les problèmes et les accidents, qui causent des retards, des dépassements de coût, ou des défaillances de la performance technique. Carter [Carter 1994] avance que l'incertitude implique le risque et a un impact.

En conception, la notion de risque est définie comme étant n'importe quel événement incertain pouvant avoir des impacts préjudiciables sur les résultats du projet de conception. Cet impact peut être mesuré en unités de temps écoulé, en coûts financiers ou en terme de qualité (tels que les paramètres de performance en conception) [Crossland 2003].

Souvent l'impact est mesuré en terme de durée de développement [Krishnan et al. 1997], en terme d'efficacité de la coordination [Terwiesch et al. 1999], en terme de performance globale [Joglekar et al. 01]. Tous ces travaux se basent principalement sur les risques de retard dus aux itérations et/ou aux blocages dans la conception [Terwiesch 02].

Les caractéristiques citées ci-dessus, sont des caractéristiques invariablement cruciales du processus de conception et plus précisément du processus de conception amont.

1.4. Conclusion et Question de recherche

Dans ce chapitre, nous avons proposé une introduction au processus de conception de produit. Une terminologie relative à ce dernier ainsi qu'une modélisation générique ont été proposées. Bien que des différences entre un produit unique et un produit en série soient perceptibles, les caractéristiques du processus de conception (incertitude, complexité, interdépendance, etc.) sont les mêmes. Un dénominateur commun entre ces caractéristiques est la *collaboration*. Cet aspect est lié au fait que l'activité de conception est collective impliquant plusieurs disciplines et portant sur différentes parties du produit qui sont interdépendantes.

L'incertitude et l'interdépendance (résultant de la complexité du produit et de la multidisciplinarité) semblent être les difficultés de base rencontrées pendant le processus de conception amont. Gérer le processus de conception collaborative amont revient principalement à palier ces deux difficultés.

Par ailleurs, le processus de conception amont est dédié à l'exploration de nouvelles idées dont il doit éprouver la fiabilité : quelle confiance faut-il accorder à la proposition d'un technicien ? au chiffrage d'un prix de revient ? au budget estimé ? à la faisabilité du cahier des charges ? D'après Midler [Midler 1993], arriver à qualifier l'information dans les projets de conception est une nécessité due à l'incertitude des données qui sont souvent utilisées par des acteurs différents des acteurs les ayant créer.

L'absence d'explicitation de l'incertitude sur les données manipulées ne permet pas de savoir pour un choix retenu s'il est plus sûr que le précédent. Dans certains cas, pour tenter d'atteindre un objectif ambitieux, on abandonne une solution moyenne mais robuste pour une solution plus séduisante mais moins connue (incertaine) et donc plus risquée. Le projet est donc en train de diverger sans qu'il n'y ait un indicateur pour visualiser ce risque [Midler 1993].

L'interdépendance est un facteur lié à l'incertitude des informations. L'interdépendance induit une communication fréquente « d'information immature » des informations. Organiser la communication des informations immatures implique aussi la caractérisation de ces dernières. D'une part, l'organisation du processus, en présence de ces difficultés, est très compliquée, et d'autre part, la communication, au quotidien, entre les acteurs de la conception est très dense et surtout difficile à gérer.

La question de recherche traitée dans la présente thèse est de savoir comment améliorer la collaboration des acteurs de la conception, tout en prenant en compte les deux difficultés : incertitude et interdépendance ?

Pour répondre à cette question, l'hypothèse principale avancée dans ce travail, consiste à considérer les informations *immatures* (incertaines, incomplètes, etc.) partagées/échangées entre les activités collaboratives et de permettre leur diffusion au plus tôt dans le processus de conception. Ce partage d'information immature permettra la réduction des itérations de dysfonctionnement et par conséquent la réduction du temps de conception ainsi que d'autres coûts inhérents. Ceci n'est possible que si les acteurs impliqués disposent d'un mécanisme permettant la représentation et le suivi de la maturité de l'information et sa diffusion pendant le processus de conception.

Avant d'entamer les propositions avancées dans cette thèse, nous présentons dans les chapitres suivants (§2, §3, et §4), notre état de l'art, décrivant d'une part, nos analyses du

terrain d'observation CIH (cf. §2.2) et d'autre part, les bases théoriques sur lesquelles reposent nos propositions (cf. §3 et §4).

Chapitre 2 : Méthodologie de recherche et analyse descriptive d'un processus de conception collaborative au CIH

L'activité de conception dépend du contexte qui varie selon les organisations, les stratégies de l'entreprise, les marchés, les technologies employées, etc. ainsi que selon les acteurs. Ceci relève une difficulté majeure correspondant à l'absence de théorie établie comme dans d'autres domaines tels que la chimie, l'électricité, etc. Ainsi, les résultats d'études portant sur les processus de conception ne peuvent pas être vérifiés par d'autres chercheurs si les conditions d'expériences et les démarches de recherche ne sont pas assez précisément explicitées. Néanmoins, des travaux en recherche conception proposent des méthodologies de recherche pour remédier à cela.

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons notre méthodologie de recherche en considérant plusieurs méthodologies de recherche en conception représentées dans la littérature. Dans la deuxième partie, nous exposons l'application de la méthodologie de recherche adoptée sur le terrain industriel.

2.1 Méthodologie de recherche

2.1.1 Méthodologies de recherche en conception

Duffy et O'Donnell [Duffy & O'Donnell 1998] proposent un cadre pour la recherche en conception. Les auteurs divisent le cadre en deux parties : une partie descriptive et une partie prescriptive. La première partie propose de modéliser une situation réelle de conception. Un modèle d'information détaillé est ensuite développé et éventuellement des outils informatiques en découlent. A chaque étape, il s'agit de vérifier le modèle par rapport à la réalité ou à des modèles descriptifs déjà existants. La partie prescriptive considère une situation idéale et la décline dans des modèles prescriptifs de phénomènes, d'informations et d'informatiques. Ces modèles sont aussi comparés à d'autres modèles prescriptifs existants.

Minneman [Minneman 1991] de l'université de Standford, mènent la recherche ethnographique de la conception. Cette approche consiste en trois étapes itératives : l'observation du processus, l'analyse du processus et l'intervention sur le processus. Deux

sous approches en découlent. L'approche recherche-action qui se focalise sur l'intervention à l'action et la création des connaissances [Coughlan et al. 02] et l'approche proposée par Minneman [Minneman 1991] qui consiste à ajuster le cycle de recherche en fonction de l'objectif de l'étude.

Boujut et Tiger [Boujut & Tiger 02] vont dans le même sens que les propositions faites par Minneman et Tang. Les auteurs proposent une approche recherche action qui analyse l'activité de conception de l'intérieur. Ils proposent des outils ou d'autres moyens issus des résultats d'études ethnographiques pour assister les concepteurs pendant le processus de conception. Ils font remarquer que, pour réaliser une boucle de recherche, il faut considérer une période d'au moins cinq ans.

Blessing [Blessing & Chakrabarti 02] propose une méthodologie de recherche en conception connue sous le nom de *Design Research Methodology* ou DRM. Cette approche tente de pallier à trois lacunes cruciales en recherche conception : le manque de vue d'ensemble sur la recherche actuelle, la non utilisation des résultats dans la pratique et le manque de rigueur scientifique. Cette démarche descriptive se déroule en quatre étapes :

- La recherche des critères pertinents et mesurables avec lesquelles les méthodes et les outils de conception sont évalués,
- La phase descriptive qui implique les observations et les analyses concernant la compréhension des différents facteurs influant directement ou indirectement les critères d'évaluation.
- La phase prescriptive I qui, en se basant sur les résultats de la phase descriptive, propose des méthodes et des outils afin d'apporter plus de compréhension sur la situation de conception, de la supporter et de l'améliorer.
- La phase prescriptive II qui représente une validation de la phase descriptive I. Le but de cette évaluation est double : l'évaluation de l'applicabilité de la méthode et l'évaluation des résultats par rapport aux critères proposés.

Des retours aux études descriptives et prescriptives sont effectués afin d'améliorer la boucle de recherche.

Les auteurs font la distinction entre plusieurs types de recherche en fonction des objectifs du projet. Si la finalité du projet de recherche est de décrire un état actuel du processus de conception, alors seules les deux premières étapes sont réalisées. Si la finalité du projet est

d'élaborer une méthode, alors les trois étapes sont réalisées. On procède de cette façon jusqu'au moment où le type de projet exige l'exécution d'un cycle complet et l'exécution de retour aux études descriptives et prescriptives pour l'amélioration de la boucle de recherche.

Brissaud [Brissaud *et al* 03] présente un cadre de recherche de conception qui repose sur huit activités exécutées de manière cyclique autour des objectifs de la recherche. Ces activités sont : la spécification, le prototypage, le développement, l'usage, l'expérimentation, l'observation, l'analyse et la modélisation. La séquence de ces dernières n'est pas claire et certaines activités peuvent être réalisées en parallèle ou omises pour être développées a posteriori. Trois approches sont proposées à travers ces activités. Une approche scientifique qui englobe les activités d'observation, d'analyse et de modélisation. Une approche des sciences pour l'ingénieur qui englobe les activités d'analyse de littérature (ou des expériences précédentes), de spécification des caractéristiques de l'artefact et de réalisation d'un prototype. Une troisième approche de travail d'ingénierie qui porte sur le transfert du prototype, développé dans l'approche précédente, vers les utilisateurs potentiels.

La volonté des chercheurs à travers ces différentes approches de recherche est d'établir une théorie, ce qui est difficile dans le cas de la conception, et ce au même titre que les autres domaines classiques : mathématiques, physique, etc. L'objectif est de fournir un support méthodologique pour effectuer la recherche, homogénéiser et valider les résultats des études réalisées.

Ceci étant dit, certaines approches proposées ci-dessus demandent des durées de projet relativement long. « *Un projet de recherche relativement court comme une thèse de doctorat ne semble pas en adéquation avec les approches proposées par Boujut et Tiger, Blessing et Brissaud* » [Ruiz-Dominguez 05].

A partir de notre étude de ces approches de recherche, le constat qui en découle est que la recherche en conception se construit et évolue progressivement. Un cadrage de la recherche par une (ou des) question(s) de recherche semble nécessaire.

Par ailleurs, comme l'activité de conception est complexe, plusieurs méthodes d'analyse de cette dernière ont été proposées : des études empiriques, statistiques, etc. Nous résumons la synthèse de ces techniques d'analyse effectuée par [Waldron et al. 1996] dans le tableau 1 ci-dessous.

Méthode	objectifs	Procédé	Particularité
Entretien	Etudier le comportement des individus	Poser des questions à un individu sur un projet donné	Quatre types d'entretiens : entretien structuré, entretien orienté problème, entretien descriptif et entretien dirigé.
Analyse du protocole	Description des activités ordonnées dans le temps.	Tout en exécutant une tâche (une mission), il s'agit de décrire les activités dans lesquelles un individu s'engage et ce par rapport au temps.	Le type d'analyse dépend du nombre d'individus considérés dans la mission. Une méthode « think-aloud » pour un seul individu, et les protocoles de discussion pour un groupe d'individus.
Etude de cas	Fournir des informations détaillées sur les résultats d'un processus de conception.	Analyser les résultats d'un processus de conception.	Les informations sur le déroulement du processus ne sont pas détaillées.
Méthode rétrospective	Fournir des informations détaillées sur les résultats d'un processus de conception.	Analyser les résultats d'un processus et vérifier les données obtenues en interagissant avec les acteurs de la conception pour obtenir plus de détails sur le processus.	Les informations chronologiques sur le processus de conception sont considérées et une explicitation sur la manière avec laquelle la décision a été prise est exposée.
Observation du processus.	Observer le processus de conception à travers les interactions des acteurs.	Technique sociologique et anthropologique qui repose sur les notes d'observation.	Cette technique part de l'observation jusqu'à la participation au processus. Les notes d'observations sont considérées comme les données de base.
Méthode dépositionnelle	Rendre compte de la logique d'action.	L'acteur de la conception doit décrire au chercheur ce qu'il a fait à un moment donné et dire pourquoi il l'a fait.	Combinaison des avantages de l'analyse de protocole et de l'entretien.

Tableau 1 Méthodes d'analyse de l'activité de conception [Waldron et al. 1996].

Notre approche d'analyse de l'activité de conception, notamment sur le terrain (cf. §2.2), s'apparente à celle de l'*observation* et à celle de l'*entretien*. Pour cette dernière, les entretiens ont été orientés problème, c'est-à-dire que les entretiens se construisaient au fur et à mesure que des problèmes et des questionnements émergeaient.

2.1.2 Approche adoptée

Notre approche se veut être à la fois descriptive et prescriptive. Elle a été construite au fur et à mesure de l'avancement de la recherche. Nous l'avons schématisée suivant la figure 6. Une boucle de cette démarche peut ne pas comporter toutes les étapes citées ci-dessous et une étape de cette approche peut être appliquée à des moments différents du projet de recherche (qui est pour notre cas, la présente thèse de doctorat).

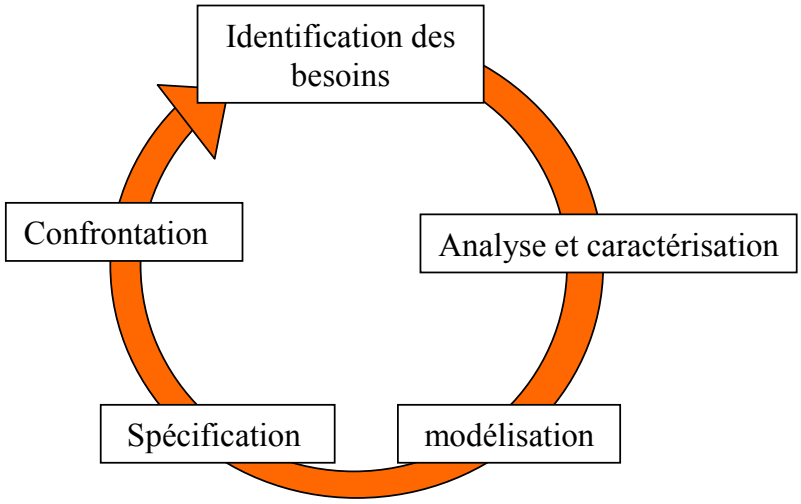


Figure 6 Méthodologie de Recherche Adoptée

Nous résumons les étapes de cette méthodologie de recherche comme suit :

- *Identification des besoins* (figure 6) qui concerne d'une part, l'analyse du terrain industriel (CIH) et d'autre part, les études théoriques. Pendant l'étude de terrain, il s'agit de mener des entretiens[15], des observations et de se documenter sur le déroulement réel du processus de conception. Pour ce faire, des questionnaires semi structurés et des grilles d'analyse ont été construits et utilisés, des entretiens ont été enregistrés sous forme audio ou notes, des sauvegardes de fichiers électroniques et des échanges de mails entre les acteurs ont été effectués, etc.

Cependant, l'étude théorique est menée à n'importe quel moment du projet de recherche et porte sur les différents concepts abordés pendant la récolte des données, l'analyse des données, la modélisation et la confrontation.

- *Analyse et caractérisation* (figure 6) qui est appliquée à la suite ou en parallèle de l'étape de récolte des données. Il s'agit d'analyser les résultats obtenus de la première étape. Plusieurs

[15] La majorité des entretiens (environs 40 entretiens) ont été enregistrés à l'aide d'un dictaphone.

moyens ont été mis en œuvre pour ce faire : la retranscription[16] des entretiens enregistrés, la comparaison de ces retranscriptions aux questionnaires utilisés, le remplissage (et éventuellement la modification) des grilles d'analyse, l'analyse de la documentation et des esquisses effectuées par les acteurs pendant les entretiens ou pendant des études de conception préalables, l'analyse des mails échangés entre les acteurs, la comparaison des différents travaux de recherche, etc. Pour plus de détails sur les résultats des phases de récolte et d'analyse des données, voir la partie 2.2 (pour l'étude de terrain) et les chapitre 3 et 4 (pour l'étude théorique).

- *Modélisation/spécification* (figure 6) correspond d'une part, à des diagrammes UML (principalement les diagrammes d'activités et des cas d'utilisation) et d'autre part à des schémas ou à des descriptions textuelles des observations (notes d'observation). Les modèles UML établis pendant l'étude de terrain, ne sont pas destinés à faciliter le partage d'information entre les acteurs de la conception mais représentent un début de spécification du système d'information proposé dans cette thèse (cf. chapitre 7). Cependant, quelques difficultés de modélisation ont été rencontrées lors de la modélisation. Ces dernières sont dues aux limites d'un formalisme structuré UML.

- *Confrontation* (figure 6) qui porte sur la confrontation du cadre conceptuel à l'état de l'art. Cela revient soit à la confrontation des résultats des observations sur le terrain (grilles d'analyse, schémas, etc.) aux acteurs interviewés[17] pendant la phase de *récolte de données,* soit à la confrontation du modèle conceptuel construit aux modèles théoriques, observés ou expérimentaux existants.

La méthodologie de recherche adoptée dans ce travail s'inspire de certaines méthodes de recherche exposées dans les paragraphes précédents. En effet, notre approche est scientifique (d'après [Brissaud et al 03]) car elle comporte une phase d'observation, d'analyse et de modélisation du cadre de collaboration. Aussi, l'approche adoptée s'inspire de l'approche de Duffy et O'Donnell dans le sens où on retrouve les deux phases : descriptive et prescriptive. La phase descriptive consiste en la modélisation de situations de collaboration réelles (cf. §2.2). Cependant, la phase prescriptive porte sur l'analyse des modèles théoriques du processus de conception collaborative.

[16] Environ 70% des entretiens enregistrés ont été retranscrits intégralement.
[17] Il est à noter que 100% des entretiens analysés ont étés confrontés aux acteurs impliqués.

Dans la partie suivante, nous présentons la phase descriptive portant sur la description d'un processus de conception collaborative au Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH) de l'entreprise EDF.

2.2 Description du processus de conception collaborative au CIH

Cette partie présente l'étude du terrain industriel portant sur le processus de conception au CIH. Ces analyses s'inscrivent dans le cadre de deux contrats de recherche entre le laboratoire GILCO[18] et le CIH. Pendant le premier contrat[19] (2002-2003) avec le département R&D de EDF, et pour une durée de quatre mois, l'analyse concernait le processus de conception d'une installation hydraulique [Grebici 03]. La deuxième période d'observation (avril-juillet 2004) s'inscrivait dans le cadre d'un autre contrat de recherche mais cette fois ci avec le service Systèmes d'Information du CIH. Pendant trois mois, il s'agissait d'analyser toutes les phases du processus de réponse à un appel d'offre national ou international [Grebici 04a].

Notre approche d'analyse, comme il est cité dans la partie 2.1, est l'observation et les entretiens. Pour ce faire nous avons procédé, à chaque fois, en deux étapes : une étape d'état des lieux des processus d'organisation, de planification et de contrôle et une étape d'analyse du processus réel de conception entre les acteurs. L'idée était d'analyser le déroulement des activités collaboratives par le biais des objets (informations) manipulés par les acteurs impliqués.

Pour mener nos analyses descriptives du processus nous avons construit nos questionnaires et nos grilles d'analyse autour des quatre cadres conceptuels pour l'action coopérative proposés dans [Boujut 01] : *le cadre temporel, le cadre conceptuel, le cadre spatial et le cadre organisationnel*. Ces derniers, ont été initialement proposés comme des frontières à l'intérieur desquelles peuvent se déployer des modes de fonctionnement coopératifs de manière explicite.

Dans un premier temps, nous décrivons l'organisation des projets aux CIH. Nous procédons ensuite à la présentation des quatre cadres de la coopération. Ces derniers sont ensuite utilisés comme grille de lecture dans la description du processus de conception amont de produit

[18] Gestion Industriel Logistique et Conception.
[19] Le contrat de recherche portait sur l'exploration de pistes de gains par l'usage d'un outil de CAO 3D dans le projet de conception ou de maintenance IPE (Ingénierie du Parc en exploitation) au CIH

hydraulique au CIH, plus précisément de l'*étude de faisabilité*. Plusieurs constats ont découlé de ces observations. Nous les résumons dans la dernière partie de ce chapitre.

2.2.1 Projets d'ingénierie hydraulique au CIH

Il est important de préciser la notion de projet telle qu'elle est communément utilisée au CIH. La notion de *projet* concerne les activités d'étude, d'expertise et de suivi de réalisation d'un ouvrage. Il est à noter que la notion d'*affaire* renvoie à une réponse à un appel d'offre ou à des activités d'analyse et d'étude technico-commercial en avant projet.

Le projet hydraulique concerne les activités d'installation et de maintenance. Un produit hydraulique peut être : un barrage hydraulique, une centrale hydroélectrique, une passe à poisson, etc. (voir l'annexe 2 pour plus de détails sur le produit hydraulique).

Au CIH, on distingue les petits projets des grands projets selon différents critères représentés dans le tableau 2 ci-dessous. Il n'est souvent pas facile de distinguer les petits projets des grands projets. Par exemple, un petit projet de calibrage d'évacuateur de crue peut devenir en cours de développement un grand projet de réhabilitation de barrage. Donc certains critères, tels que la charge horaire, sont à considérer a posteriori, une fois le projet d'ingénierie effectué. En outre la mesure de la taille d'un projet n'est pas binaire. Entre les deux colonnes « petit projet » et « grand projet », il existe tout un spectre de projets jugés plus ou moins petits (ou grands).

Critères	Petit projet	Grand projet
1. Type de projet	A dominante IEP[20]	Nouvelle installation ou affaire internationale
2. Client	Essentiellement EDF	Essentiellement client externe (international)
3. Budget	0.007 MM € à 0.6 MM €	0.6 MM € à 10 MM €
4. Charge horaire	Quelques semaines à plusieurs mois.	Plusieurs semaines à plusieurs années.
5. Nombre d'acteurs participants au projet	1 à 5 acteurs	5 à 30 acteurs
6. Profil des acteurs	Généralistes	Généralistes et spécialistes
7. Spécialité	70% d'électromécanique et 30% de génie civil	50 % d'électromécanique et 50% de génie civil.
8. Intervention sur les unités du CIH.	Très forte	Répartition selon les domaines de compétence entre le siège et les antennes du CIH
9. Type d'opération	Etude d'impact,	Implantation de nouveaux

[20] Ingénierie du Parc en Exploitation.

	réhabilitation d'une turbine, etc.	ouvrages : centrale hydraulique, passe à poissons, etc.
10. Intervention externe à EDF	Constructeurs prestataires, etc.	Sous traitant, associés, constructeur, etc.
11. Interlocuteur	Fournisseurs, constructeur, client, etc.	Fournisseurs, constructeurs, exploitant, DRIRE[21], organismes internationaux, etc.

Tableau 2 Taille d'un projet au CIH [Grebici 03]

Il est clair que plus un projet est grand, plus le degré de complexité à la fois de son organisation et du produit considéré augmente (cf. §1.2.3).

Ce tableau est donné à titre d'exemple de ce que peuvent être les critères de dimensionnement d'un projet de conception. Certains critères utilisés ci-dessus, concordent, directement ou indirectement, avec les critères de complexité d'un projet de conception exposés dans des travaux théoriques [Clarkson et Eckert 05] tels que : la complexité structurelle et comportementale du produit/service/système considéré (le point 9 du tableau 2), le nombre important des acteurs participants au projet (le point 4 du tableau 2), les compétences et les connaissances différenciées des acteurs participants au projet (les points 5, 6, 7 et 8) et l'impact environnemental (qui n'est pas cité dans le tableau).

Ce classement permet aussi de montrer dans quel type de projets se positionne notre travail. Désormais, tout au long de cette thèse, il est question de grand projet de conception tel qu'il est montré dans cette partie.

2.2.2 Organisation d'un projet ou d'une affaire au CIH

Le travail autour d'un projet ou une affaire[22] au CIH s'organise selon deux principaux axes : les projets/affaires et les métiers (compétences techniques) (figure 7). Les principaux rôles d'un acteur appartenant à un projet/une affaire sont les suivants :

- *Chef de département projet* est unique pour un projet. Il dépend du domaine prépondérant du projet. Ce rôle est généralement assurée par un chef de département et est attribué à l'acteur dans le contrat avec le client.

[21] DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'environnement.
[22] Une affaire représente une réponse à un appel d'offre. Une fois le contrat d'étude ou d'exploitation est signé avec le client, l'affaire devient un projet.

- *Chef de projet* est unique pour un *projet*. Il dépend du domaine technique prépondérant et de la phase du projet. Ce rôle est généralement joué par un chef de service et est attribué à l'acteur dans le *contrat projet*[23] (figure 7).
- *Responsable de zone* est unique pour une affaire et représente l'acteur responsable de la zone géographique du client. Ce rôle est joué par un commercial.
- *Directeur de zones* est le chef de service commercial. Il désigne l'acteur à la tête de plusieurs responsables de zones. Sa tâche consiste à vérifier et à approuver les notes de criblage[24].
- *Chef de lot* représente le responsable d'un lot (un ensemble de parties techniques du produit). Il y a autant de lots que de domaines techniques dans un *projet*. Ce rôle est généralement joué par un cadre ou un ingénieur et est attribué à l'acteur dans la *fiche de lot*[25] (figure 7).
- *Responsable technique d'offre* est unique pour une *affaire* et représente l'acteur responsable de l'étude technique de l'affaire pendant le processus de réponse à un appel d'offre (avant projet d'étude). C'est généralement celui qui devient chef de projet dans les phases d'étude.
- *Approbateur* est unique pour un *projet* et représente l'acteur qui approuve les documents produits. Ce rôle est souvent joué par le chef de département (figure 7).
- *Vérificateur* est unique pour un *projet* et représente l'acteur qui vérifie les documents produits par l'étude du projet : fiche d'observation, bordereaux d'envoi, etc. Ce rôle est souvent joué par le chef de service (figure 7).
- *Intervenant opérationnel*[26] est celui qui réalise les activités du projet : dessin de plan (projeteur), calcul et réalisation de documents techniques. Ce rôle est généralement joué par des projeteurs et des techniciens (figure 7).

---

[23] Représente le contrat signé entre le département projets et les départements concernés par le contrat client.
[24] Les notes de criblage représentent des rapports d'analyse technico-commerciale d'une affaire identifiée chez un client.
[25] Représente le document dans lequel, il est précisé les différents lots techniques, leur description et les responsables associés.
[26] Un ingénieur est aussi appelé acteur métier.

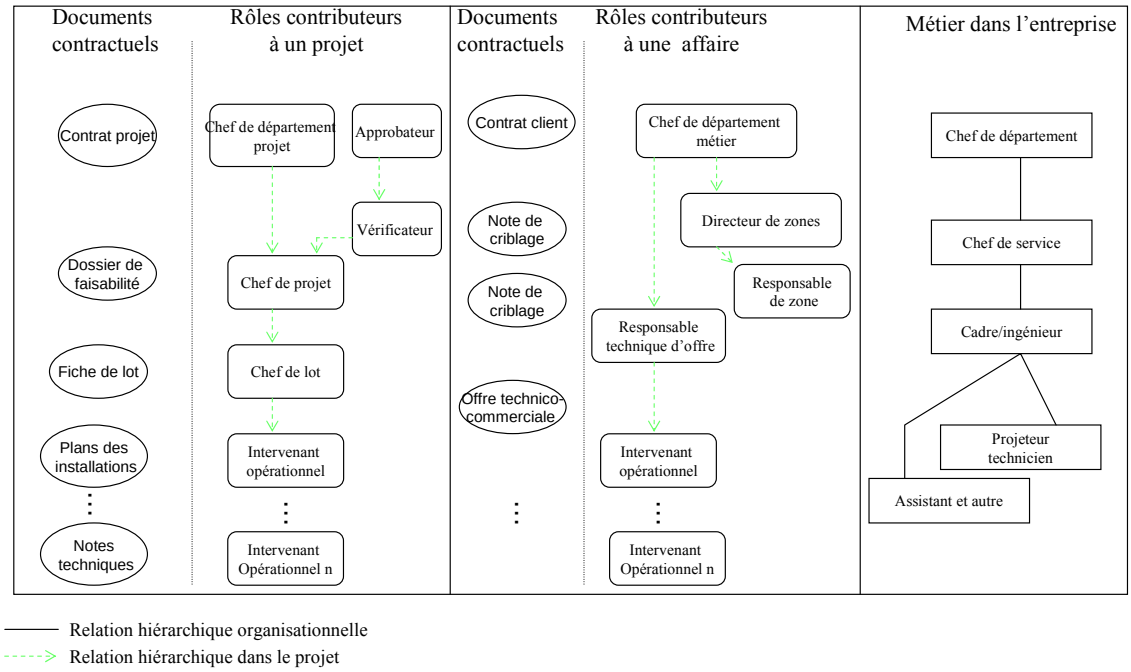


Figure 7 Organisation dans un projet ou affaire au CIH [Grebici 03]

Le modèle de processus de définition d'un produit hydraulique au CIH s'inscrit dans le référentiel management du CIH (cf. Annexe 3). Ce dernier est structuré selon un modèle de processus classique, c'est-à-dire comportant les sous processus : Définition du problème (« contractualiser » dans la figure 8), phase conceptuelle (« études de faisabilité » et « Avant projet sommaire » dans la figure 8), conception détaillée (« Avant projet détaillé » dans la figure 8) et réalisation.

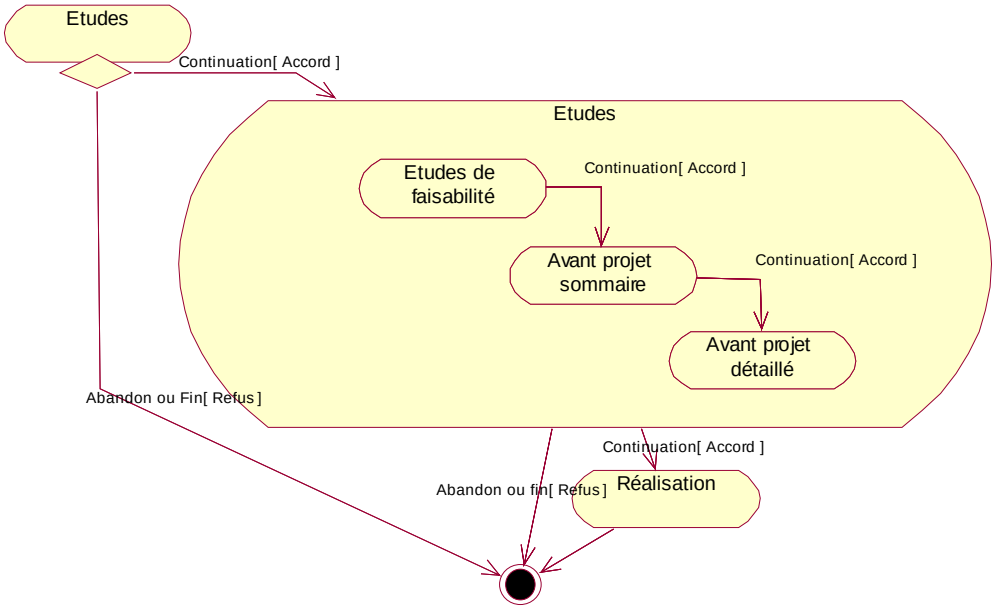


Figure 8 Modèle de processus de définition de produit hydraulique au CIH

Souvent un projet de conception ne porte que sur un sous processus (l'étude de faisabilité) ou sur deux sous processus (faisabilité et APS[27]) mais rarement sur le processus complet de conception tel qu'il est présenté ci-dessus.

En outre, l'étape de contractualisation ne se solde pas toujours par un contrat signé avec le client. Souvent, l'étude du projet commence et le contrat n'est toujours pas signé. Afin d'augmenter ses chances de gagner l'offre, le CIH soumet un dossier de réponse à l'appel d'offre dont l'étude est assez avancée (niveau APS).

Le modèle de la figure 8 montre les phases à suivre pour mener à bien un projet de conception d'un ouvrage hydraulique. Cependant, dans la réalité, les projets de conception ne se déroulent pas exactement comme prévu. Des retours en arrière et des arrêts empêchent souvent l'avancement du processus et ce pour les raisons expliquées dans le chapitre 1.

Dans ce qui suit nous examinons le processus de définition d'un produit hydraulique au CIH mais cette fois ci de l'intérieur de l'activité de conception en analysant les pratiques des acteurs de la conception. Comme nous l'avons déjà souligné, une grille d'analyse a été mise en œuvre pour cet exercice. En partant du constat que l'activité de conception est collaborative, nous construisons cette grille d'analyse en se basant sur les quatre cadres

[27] Avant projet Sommaire.

conceptuels de la coopération. Ces analyses représentent notre vision du processus tel qu'il était au moment de notre arrivée sur le terrain.

Nous allons baser notre analyse sur le cas de grands projets de nouvelles installations. Ce qui nous permet d'observer le maximum d'interactions entre métiers, de par le nombre d'acteurs impliqués dans la conception et de par leurs points de vue différenciés, le type d'ouvrages et les installations hydrauliques étudiées, les partenaires et interlocuteurs internes et externes à EDF sollicités, etc.

Nous focalisons nos analyses sur le sous processus d'études de faisabilité qui représente une partie du processus de conception amont très révélatrice des particularités des processus amont de conception citées dans le chapitre 1. En outre, ce sous-processus est le passage de l'analyse préliminaire à la conception à proprement dit et est donc très intéressant pour nos observations concernant l'évolution de la *maturité* des informations de conception.

2.2.3 Grille d'analyse

Cadre Organisationnel

La gestion d'un projet repose sur un chef de projet pour assurer la conduite du processus. Il est en quelque sorte le responsable du processus de conception collaborative. Cependant, dans des réseaux comportant moins d'acteurs, la collaboration doit être réalisée avec ou sans responsable organisationnel. En d'autres termes, le chef de projet est « l'animateur naturel » des acteurs et le garant des objectifs au niveau global du projet. En revanche, au niveau des équipes de travail, la participation d'un responsable organisationnel aux réunions de travail n'est pas indispensable. Toutefois l'animation de la réunion est indispensable. Ainsi un acteur assume temporairement la responsabilité d'animation de la réunion et il agit sur les liens (ou interfaces) entre concepteurs pour mener à bien la réunion. Boujut et Laureillard [Boujut et al. 02] proposent d'instituer un nouveau rôle appelé « acteur d'interface », qui serait responsable d'animer ces périodes de collaboration.

Cadre Temporel

Laureillard [Laureillard 00] et Boujut [Boujut et al. 02] proposent des « zones coopératives » comme des moments précis du projet pendant lesquelles les acteurs de la conception s'organisent de manière imprévisible et temporaire, où les acteurs doivent produire conjointement une solution. Ce cadre permet de définir, dans un planning projet, ces zones de

coopération représentant le cadre temporel de l'action coopérative et où les acteurs peuvent jouer des rôles non figés. Par ailleurs, en dehors de ces zones, l'activité est « ordinaire » réalisée séparément sans besoin de production conjointe entre les acteurs.

Cadre Spatial

L'activité collaborative est souvent pensée comme une co-présence physique ou virtuelle (avec des outils collaboratifs). Boujut [Boujut 01] définit « l'espace pour la coopération » comme un environnement informatique, avec des modèles et des outils partagés, ou comme des réunions physiques et des échanges sur des maquettes physiques, sur des esquisses, etc.

Cadre Conceptuel

L'activité de conception collaborative fait appel au partage des connaissances. Ce cadre représente l'ensemble des connaissances communes entre les acteurs qui participent à l'activité. Ces dernières permettent un minimum de compréhension réciproque. Ces connaissances sont constituées de : *conventions, représentations ou objets intermédiaires* [Mer 1998]. Le cadre conceptuel doit fournir aux acteurs des éléments *de langage communs* ainsi que des éléments permettant de se créer des référentiels partagés et des connaissances partagées orientées vers l'action de conception conjointe.

2.2.4 Description du processus de faisabilité d'un projet de conception de produit hydraulique au CIH

Compte tenu des analyses antérieures du processus de conception au CIH [Moumène 02] et des entretiens effectués auprès des différents bureaux d'étude, les métiers au cœur de la conception sont l'ElectroMécanique (EM) et le Génie Civil (GC). En effet, ce sont les métiers qui définissent l'architecture des installations et les ouvrages qui les supportent et les entourent.

L'ensemble des acteurs GC et EM mobilisent plusieurs types de représentations, telles que : les plans 2D, les modèles CAO 3D (modèle surfacique, modèle volumique, etc.), des notes techniques[28], des schémas électriques, des rapports techniques, etc. Ces représentations jouent un double rôle de représentation du futur produit et de moyen de *médiation* entre les acteurs de la conception (notamment les projeteurs). Ce sont là les caractéristiques des objets

[28] Principalement produites et utilisées par les ingénieurs.

intermédiaires (cf. §3.3.3). Cela dit, les plans 2D sont des *objets intermédiaires* par excellence entre les projeteurs GC et EM. Nous nous sommes donc potentiellement intéressés aux plans 2D et à l'ensemble des informations associées.

Pour tout projet de nouvel aménagement, l'étude au CIH commence par un dossier de faisabilité. Cette étape consiste à faire un devis estimatif d'un ensemble de solutions *tendances*[29], économiquement viables.

En faisabilité, l'action généralement se déroule comme suit. On commence par estimer le profil hydraulique et l'énergie hydraulique en place. Puis, compte tenu de la topographie du site et de la géologie du sol, on implante les ouvrages dans le site, les uns par rapport aux autres, afin d'optimiser l'énergie hydraulique. En parallèle, on identifie le matériel électromécanique correspondant à différentes fonctions (génération de l'énergie : groupe, salle de transfo (vide), levage : pont roulant, drainage : pompe de drainage, etc.) (Cf. annexe 4).

De ce processus il en résulte un dossier de faisabilité contenant des plans généraux, des notes techniques, des rapports de terrains, une note économique[30], etc.

Cadre organisationnel

Un projet d'ingénierie hydraulique comme n'importe quel autre projet, est géré par un chef de projet. La mission de ce dernier consiste à la mise en commun du travail des pilotes opérationnels dans leurs activités de définition et d'évaluation du produit. La tâche du chef de projet est double :

- La mise en cohérence des informations contenues dans les plans GC et EM,
- La gestion du projet en terme de coûts, délais, sécurité, image de marque, etc.

En faisabilité et d'un point de vue opérationnel, le chef de projet va s'assurer que le type de matériel choisi par les acteurs[31] EM s'adapte à l'ouvrage et que le dimensionnement et le positionnement des ouvrages des uns par rapport aux autres vérifient une énergie hydraulique optimisée. Ce sont essentiellement des vérifications de cohérences entre les informations GC et les informations EM représentées sur les plans 2D.

[29] Représentent des axes de solutions très générales.
[30] Représente un devis estimatif sur les coûts liés au génie civil et à l'électromécanique.
[31] Y compris les constructeurs.

Pendant la phase de faisabilité, le rôle du chef de projet porte essentiellement sur le respect du délai du projet et des exigences économiques, c'est à dire vérifier que les axes de solution proposés sont économiquement cohérents avec le budget alloué. Le chef de projet a aussi le rôle de porte parole auprès du client afin de transmettre à ce dernier les contraintes techniques et économiques du projet.

Les activités des projeteurs GC et EM, sont principalement collaboratives. Les projeteurs se trouvent face à des situations où ils doivent produire la solution conjointement. Dans cet exercice, ils doivent jouer le rôle « d'acteur d'interface » et ce de manière épisodique et alternée. Pour illustrer cela citons une situation observée dans un projet d'implantation d'une usine. Sur un plan 2D, le projeteur EM oriente l'arrivée des conduites forcées[32] de biais par rapport à l'usine (d'environ 43°) afin d'éviter les failles en place. D'un point de vue électromécanique, plus les arrivées des conduites forcées sont de biais plus l'usine est large pour pouvoir disposer les machines (turbine et transformateur) sur différents niveaux de l'usine. Mais d'un point de vue GC, plus l'usine est large, plus le volume du béton est important, plus la structure et la résistance de l'usine sont faibles, par conséquent moins l'usine est rentable. Dans ce travail de dimensionnement de l'usine, d'une part le projeteur EM joue le rôle d'animateur ou d'acteur d'interface dans le groupe (projeteurs GC et EM) en proposant une orientation des conduites forcées qui soit la plus cohérente avec les dimensions de l'usine et avec les contraintes géologiques du terrain. D'autre part, le projeteur GC joue le rôle d'acteur d'interface en proposant des dimensions de l'usine qui soient les plus cohérentes avec le dimensionnement des installations électromécaniques, leur encombrement et avec les contraintes de structure GC.

Cadre temporel

Il existe des moments critiques dans les travaux des projeteurs GC et EM pour lesquels ils ont absolument besoin de l'avis d'un acteur externe pour pourvoir avancer. Pendant les entretiens menés à ce sujet, les acteurs affirment l'existence de ce type de situations mais trouvent difficile de préciser leurs périodes. Un projeteur GC par exemple avance que dans ces moments, il a souvent besoin de l'avis d'un acteur EM ou du client.

[32] Ce sont des conduites de raccordement entre la prise d'eau au niveau du barrage et l'usine hydroélectrique (voir l'illustration de conduites forcées dans l'annexe C.

Pour illustrer ces propos, prenons l'exemple d'une situation vécue par un projeteur GC pendant un projet d'implantation d'un barrage. L'une des tâches du projeteur GC est d'estimer la hauteur de chute. Cette dernière représente la distance entre le barrage et l'usine. C'est une hauteur car l'usine est située en plus basse altitude que le barrage pour créer un débit amont[33] et donc une énergie. Pour réaliser cette tâche, le projeteur GC se base sur certaines informations telles que la hauteur du barrage et le positionnement de la prise d'eau mais aussi sur certaines informations en aval du barrage telles que le débit turbiné[34]. Il se trouve que ce genre d'information est du ressort du projeteur EM. Ce dernier estime la puissance installée de l'usine ; c'est-à-dire la puissance globale résultante de l'usine étant donné une hydrologie du site et un standard de machines. Ainsi le projeteur GC ne peut pas estimer la hauteur de chute sans faire appel au projeteur EM.

Cadre spatial

L'implantation du bureau d'étude CIH est sur plusieurs sites. Le siège du CIH se trouve au Bourget du Lac (Chambéry). Plusieurs antennes du CIH sont réparties dans différents endroits en France afin d'être au plus près des ouvrages et qui permet de mieux répondre aux attentes des clients et des exploitants. Ces antennes sont localisées à Brive, Grenoble, Lyon, Marseille, Mulhouse et Toulouse. De plus le CIH dans sa totalité est divisé en plusieurs entités : les départements Génie Civil, Fonctionnement et Matériel[35], Projets, Mission et Appui propriétaire et secrétariat général.

L'observation des différentes interfaces de travail entre les différents acteurs du bureau d'étude montre que des cadres spatiaux se trouvent entre acteurs de même métier (au sein du même service) ou de métiers proches. C'est le cas de l'interface de travail entre les projeteurs GC et EM. Ces acteurs affirment qu'actuellement les plans 2D font le « va et vient » entre EM et GC pour pouvoir arriver à un compromis. A chaque fois, il y a des réajustements par l'un ou par l'autre des services jusqu'à ce qu'il y ait un compromis final. L'environnement informatique spécifique utilisé pour la collaboration est restreint aux possibilités de base offertes par le réseau local, tel que la messagerie électronique, les dossiers partagés, etc. Mis à

[33] Le débit d'eau amont représente le débit entrant à l'usine. Il représente le générateur de la puissance installée.
[34] Représente le débit d'eau attendu en entrée de l'usine permettant la production de la puissance installée.
[35] Ce département est le résultat de la fusion des deux départements : électromécanique et contrôle commande.

part une co-présence physique, le cadre spatial de la collaboration des acteurs au CIH[36] est réduit principalement à des réunions téléphoniques et à quelques vidéos conférence entre acteurs de différents départements et sites du CIH.

Cadre Conceptuel

Le cadre conceptuel est le cadre qui nous a le plus intéressé dans cette étude de terrain.
L'intérêt était de montrer les différentes connaissances c'est-à-dire les règles métiers et inter métiers et les conventions partagées [Dodier 1993] ainsi que les représentations que les acteurs ont besoin de partager dans leurs collaborations afin d'arriver à une compréhension réciproque et à un bon fonctionnement de l'action de conception. Nous exposons ces faits à travers plusieurs exemples de conception observés dans le bureau d'étude (CIH). Ces situations de conception sont abordées selon différents aspects tels que: le *partage des connaissances*, le *rôle des représentations*, *l'incertitude des représentations*, etc.

Partage des connaissances[37]

Les entretiens menés au CIH confirment que des connaissances communes ou des conventions partagées entre les projeteurs GC et les projeteurs EM, existent. Ces connaissances ont été acquises tout au long des nombreuses expériences communes entre projeteurs GC et EM. Par exemple, un projeteur EM peut savoir, sans calcul que « *si une poutre en béton doit faire 40cm de long, elle doit avoir au moins 4cm de largeur »* certaines options techniques choisies vérifieront globalement certaines contraintes que les acteurs s'attarderont à vérifier soigneusement plus tard.

Il arrive souvent qu'un acteur (GC ou EM) propose des solutions qui se trouvent complètement dans le domaine de l'autre acteur. Certaines de ces solutions peuvent avoir un meilleur impact sur la satisfaction des contraintes des deux parties. Un projeteur EM interrogé évoque un exemple où un projeteur GC est intervenu dans une réunion pour proposer de modifier la forme d'une conduite que lui-même avait initialement proposé (le projeteur EM a

[36] Pour une équipe projet dont les membres se trouvent sur plusieurs antennes du CIH : Marseille, Lyon, Brive, etc. il arrive que les acteurs se retrouvent au siège du CIH (Bourget du Lac-Chambéry) pour travailler sur le projet de manière collaborative. Sinon d'autres moyens moins officiels sont utilisés tels que les réunions téléphoniques.

[37] Nous tenons à différencier les connaissances des informations contenues dans les représentations. Une information est une donnée enrichie d'un contexte, par exemple : 12°C est une donnée et « température < 12°C » est une information. Cependant une connaissance relève de l'interprétation de l'acteur de l'information qu'il reçoit, cela dépend de ses expériences passées. Par exemple : pour un individu, la température de 12°C correspond à un climat froid.

la responsabilité de proposer une solution technique de la conduite). Après cette proposition, le projeteur EM étudie plus en détail cette solution pour décider définitivement de choisir l'option proposée.

Par ailleurs, nos observations des activités de collaboration entre certains acteurs ont montré un partage limité de connaissances communes. Ce qui faisait obstacle à une compréhension réciproque. A titre d'illustration, citons l'exemple d'une réunion qui a eu lieu entre un projeteur GC et un projeteur en Contrôle Commande (CC) pour la mise en place de câbles électriques et de télécommunication ainsi que d'un boîtier électrique dans une construction génie civil (une partie d'une passe à poissons[38]) (figure 9). Les acteurs essayaient de trouver le meilleur emplacement du boîtier ainsi que la meilleure manière de faire passer les câbles de sorte à minimiser leur longueur. Un certain nombre de contraintes avaient été évoquées : dimensions du boîtier, les endroits par lesquels on peut faire sortir des câbles du boîtier, coût des câbles, sécurité, accessibilité, etc. Les acteurs proposaient à tour de rôle des positions pour le boîtier et des manières pour *faire passer* les câbles et cela en discutant autour de plusieurs plans 2D qui représentent l'ouvrage. Le projeteur CC ignorait certaines contraintes GC, par exemple, il ne savait pas que l'acheminement d'un nombre important de câbles à travers les murs requiert un renforcement de la structure GC.

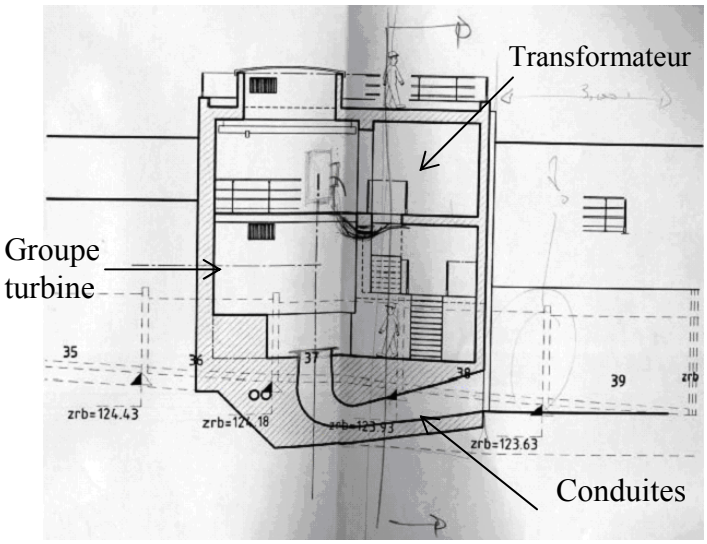


Figure 9 Représentation des câbles d'un boîtier électrique sur une coupe verticale d'une usine.

[38] Une passe à poissons est un ouvrage génie civil qui permet le passage sécurisé des poissons à travers un barrage.

Par ailleurs, les acteurs sont appelés à partager des règles métier, telles que les règles de cotations pour les métiers de projeteur, et des règles inter métiers créées après confrontation des expertises des acteurs. Les exemples de partage des règles inter métier entre projeteurs GC et projeteurs EM ne manquent pas. Citons par exemple, les règles de dimensions des structures génie civil et des encombrements des installations électromécaniques dans l'usine.

Cela dit, le partage des connaissances s'appuie en grande partie sur le partage des représentations ou des objets intermédiaires [Boujut 01]. Il suffit qu'il n'y ait pas de moyens communs de représenter les contraintes des uns et des autres pour ne pas susciter *l'apprentissage croisé* [Hatchuel 1994] et par conséquent de génération de connaissances communes. Ainsi, dans ce qui suit, nous focalisons notre analyse sur l'usage des objets intermédiaires pendant un processus de faisabilité.

Rôles des représentations du produit

Les représentations peuvent être des résultats du travail de conception comme elles peuvent être des supports de l'action. L'une des questions posées autour des représentations en processus de conception sont les suivantes :

- Sont-elles partagées ou partageables entre les acteurs concernés ?
- Comment les processus de conception fonctionnent autour de ces représentations ?

Ces questions mettent en avant plusieurs rôles des représentations en conception. Elles sont à la fois des *représentations* du futur produit mais aussi *des vecteurs de communication* entre les acteurs de la conception. Pour décrire ces deux rôles on utilise le concept d'*objet intermédiaire* [Vinck et al. 1995] (cf. §3.3.3). Comme vecteur de communication, les objets intermédiaires permettent la compréhension réciproque de la conception et comme représentation du produit ils reflètent l'évolution de la conception.

Prenons l'exemple des plans 2D manipulés par les projeteurs GC et EM. Ces derniers arrivent à lire et à modifier sans difficulté des plans GC ou EM ou même des plans qui intègrent les visions des deux métiers. Cela est dû au fait que les projeteurs utilisent des langages métiers (conventions et règles inter métier) proches.

Dans une réunion entre acteurs GC et acteurs EM portant sur la conception d'une usine, l'objectif consistait à s'entendre sur la compatibilité des ouvrages GC avec les installations EM, notamment en terme de facilitation du montage et de la maintenance des turbines en

fonction des dimensions de la structure GC. Les principaux supports sur lesquels les acteurs ont interagi sont divers plans 2D GC et EM de la centrale (coupe transversale, coupe verticale, coupe longitudinale, etc.). Les acteurs se sont mis d'accord sur la dénomination des groupes de l'usine ainsi que sur la coupe verticale de l'usine (figure 10). Les modifications GC retenues sont généralement représentées au stylo sur les plans GC. On représente généralement sur le plan le résultat des futures modifications sur les parties à modifier (tel que le re-dimensionnement des salles contenant les turbines).

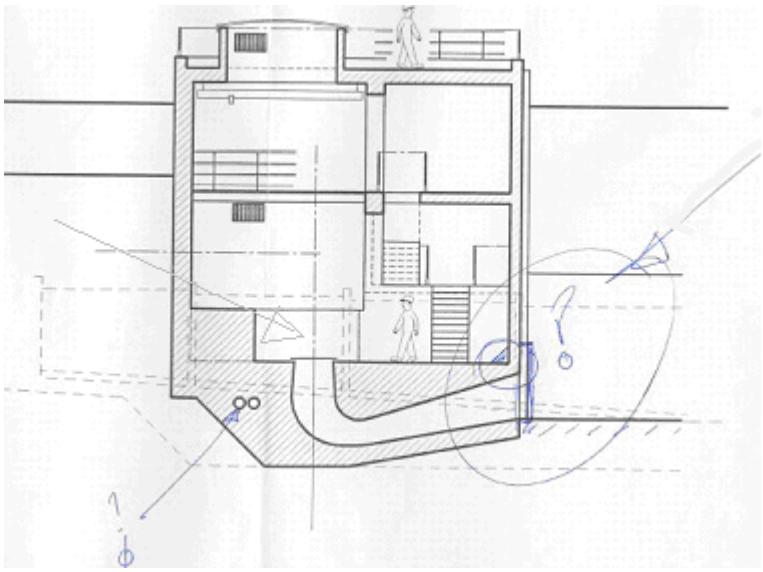


Figure 10 Exemple de communication des projeteurs GC et EM autour d'un plan 2D

Multidisciplinarité et partage des représentations en conception

Les projeteurs GC et EM, dans l'exemple ci-dessus, arrivent à comprendre les modifications sans avoir besoin d'autres moyens de représentation et les informations annotées semblent être suffisantes pour permettre leur intégration dans les plans GC et EM. D'autres acteurs n'ont pas cette facilité de communication à travers les représentations. Pour illustrer cela, reprenons l'exemple de la réunion entre le projeteur GC et le projeteur CC concernant l'emplacement des câbles et du boîtier. Les acteurs reproduisaient au crayon sur les plans 2D des esquisses du boîtier pour montrer sa position dans l'ouvrage ainsi que des dessins schématiques indiquant le passage des câbles (figure 11). Les acteurs GC proposaient, de temps à autres, de modifier légèrement l'ouvrage pour mieux arranger l'acteur CC présent.

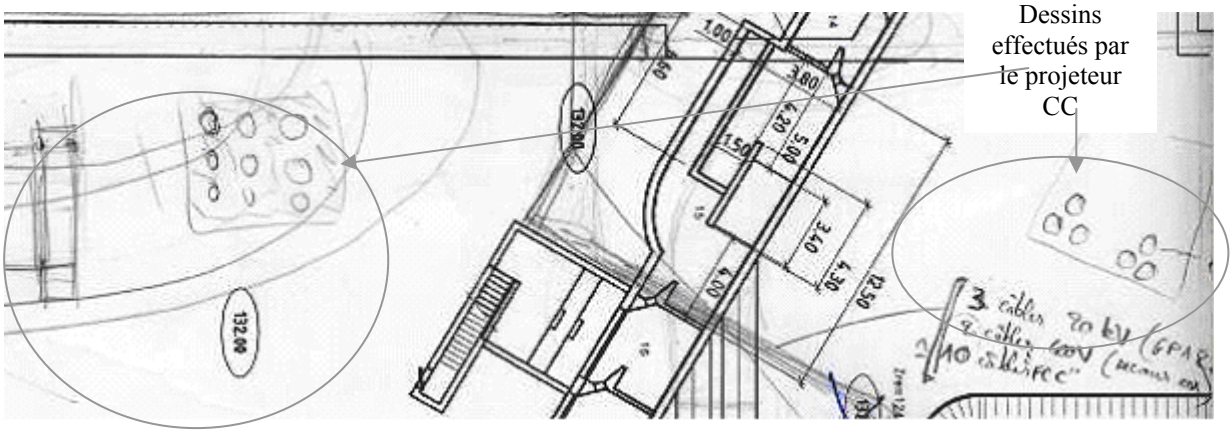


Figure 11 Exemple de situation de non partage de plan 2D entre projeteurs GC et CC

Cependant, l'acteur CC avait à plusieurs reprises du mal à saisir la forme exacte de l'ouvrage. Il confondait certains endroits sur les plans et avait du mal à s'approprier la forme globale de certaines parties de l'ouvrage. Ceci ne lui a pas simplifié la tâche pour proposer des solutions quant à l'intégration du dispositif qu'il voulait avoir dans l'ouvrage.

En outre, l'acteur CC dessinait d'autres types de schémas sur les plans 2D qui ne s'intégraient pas dans ces derniers. Par exemple, la manière avec laquelle seront disposés les câbles (partie gauche de la figure 11). L'acteur GC a fini par montrer des « photos aériennes » de l'endroit où l'ouvrage allait être construit. L'acteur CC a réagi par rapport à ce nouveau support et semblait saisir l'importance des longueurs des câbles.

Le plan 2D (figure 11) n'offre pas de *prise* aux projeteurs CC, car ces derniers ne possèdent pas les connaissances nécessaires pour comprendre le *langage métier* que les plans GC véhiculent. L'objet, dans ce cas, n'est pas partageable entre les métiers du génie civil et du contrôle commande.

Par ailleurs, les plans 2D, qui sont des représentations selon des points de vue (GC et EM) et des vues différents (coupe transversale, coupe longitudinale, etc.), reflètent également l'évolution de la conception. A ce propos, nos observations montrent que tous les objets mobilisés en conception n'ont pas les mêmes caractéristiques. Ces caractéristiques dépendent des propriétés des objets mais aussi des situations d'action dans lesquels ils sont réalisés (cf. Chapitre 3).

Incertitude des informations et risques d'itération

Pendant le processus de conception, les représentations sont soumises à une *incertitude* due à l'environnement du projet (la concurrence, les conditions du site, etc.) (cf. § 1.3.3). Cette

incertitude est à l'origine des *itérations* en conception (cf. §1.3.4). Afin de permettre l'avancement dans les activités de conception et d'éviter des itérations importantes dans le processus, les acteurs émettent des décisions de gel sur des informations contenues dans les représentations et ce à des moments donnés du processus. Cependant, ces décisions de gel pris sur des informations incertaines peuvent impliquer des risques importants d'itérations ultérieurs dans le processus. Pour illustrer cela, citons l'exemple d'un projet d'implantation d'une passe à poissons. Les projeteurs GC et EM avaient élaboré les plans d'implantation de l'usine et du barrage, et avaient identifié tous les groupes hydroélectriques associés. Les projeteurs se sont retrouvés devant une situation où la solution préconisée devait être, en raison de l'existence d'une nappe phréatique, de construire les bassins de la passe à poissons en palplanche à la place du béton. Cependant, les projeteurs GC se sont rendus compte que le terrain au niveau des palplanches contenait une couche de roche dans le sous sol (d'après la carte géologique). Ce qui rend l'implantation des palplanches difficile. Une solution consistait de décaler les palplanches pour éviter la couche de roche. Cela revenait à modifier l'emplacement de la passe à poisson sur les plans d'implantation, et donc à modifier certaines informations telles que l'emplacement de l'usine, la hauteur de chute, le profil hydraulique, etc. Autant de modifications/itérations importantes à faire sur des informations déjà stabilisées, à ce stade de l'étude de faisabilité. Il était, par conséquent, quasiment impossible de modifier l'emplacement des palplanches sans impliquer des itérations conséquentes dans le processus.

Il est donc essentiel de permettre des gels de décision sur des informations à des moments données dans le processus afin de permettre son avancement mais cela tout en considérant le niveau d'incertitude de ces informations et les risques d'itérations inhérents.

Outre les caractéristiques citées ci-dessus, une représentation telle qu'un plan 2D est hétérogène d'un point de vue niveau d'incertitude des informations qui y sont contenues. En effet, à un moment donné du processus certaines informations contenues dans un plan sont certaines ; c'est-à-dire précises, stables et complètes, d'autres sont imprécises, instables, etc. (cf. §4). Cela dépend de l'état d'avancement du processus. En étude de faisabilité, ce genre de cas est très fréquent. Reprenons l'exemple de conception de l'usine ci-dessus. La figure 12, représente une coupe horizontale de l'usine. On voit par exemple que les projeteurs hésitent, par exemple, sur la disposition horizontale ou verticale d'une installation dans l'usine (en bas à gauche de la figure 12) ou précisent les dimensions d'une autre installation (en bas à droite

de la figure 12) alors que d'autres informations, sur le plan, semblent stables (telles que les dimensions et l'orientation des conduites forcées).

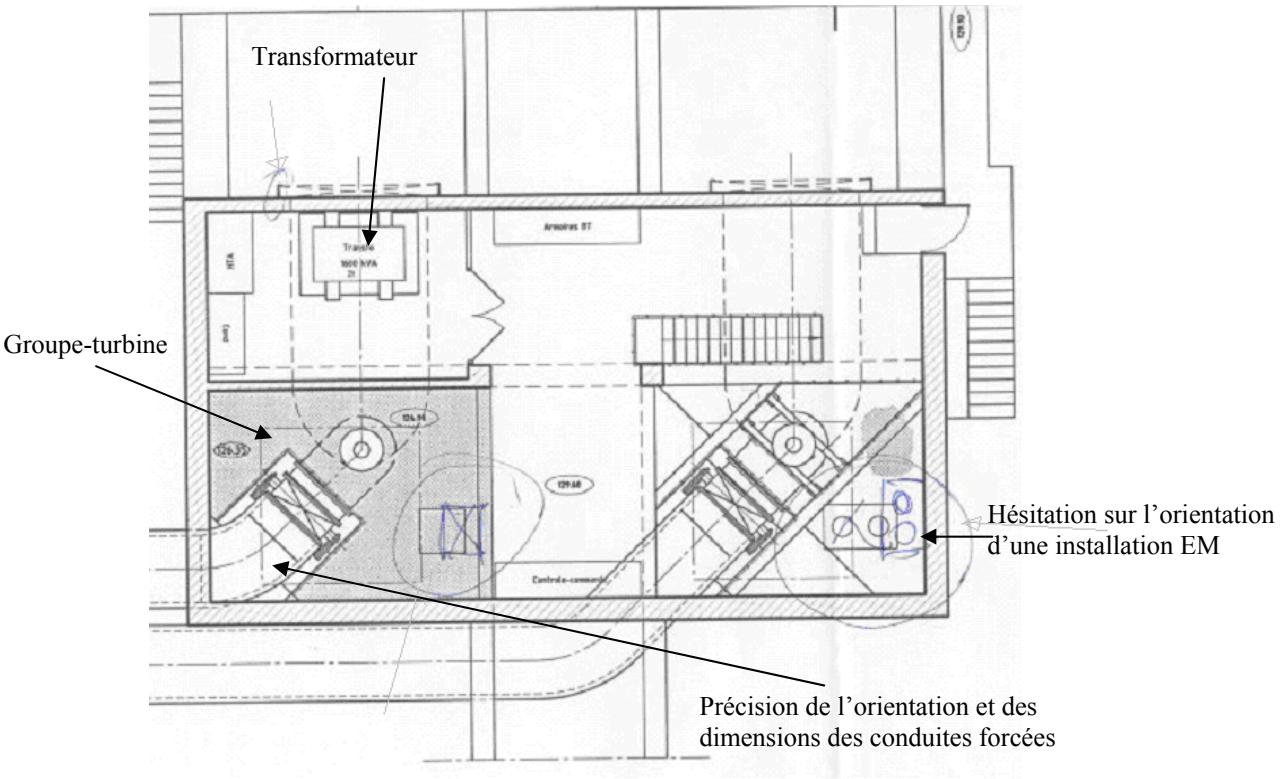


Figure 12 Exemple d'un plan 2D hétérogène

Les informations changent dans le temps au fur et à mesure que des décisions sont prises ou que de nouvelles informations sont acquises. Certaines informations évoluent plus lentement que d'autres, comme par exemple, les informations géologiques qui semblent plus stables que les dimensions et l'emplacement des machines, etc. Par ailleurs, certaines informations sont plus *critiques* que d'autres. Nous avons vu dans l'exemple de la passe à poissons que la modification due à l'information sur l'existence de la roche géologique a un impact sur la totalité de la conception (changement de l'emplacement de l'usine, de la hauteur de chute, de l'emplacement des installations dans l'usine, etc.)

Par conséquent, des informations peuvent rarement changer mais avoir des impacts importants sur le processus en terme d'itérations. Ces informations offrent peu de possibilités de négociation aux acteurs et offrent une faible prise aux acteurs.

Cependant, d'autres informations peuvent changer fréquemment et ont un impact moins important sur le processus, par exemple, le type de machine, le nombre de machine, les dimensions de l'usine, les dimensions des installations, etc. Ces informations font l'objet de

collaboration entres les projeteurs GC et EM. Cela dit, si l'estimation de telles informations comme les dimensions de l'usine, impacte des informations telles que la hauteur de chute, leur impact peut devenir important sur le processus et la mise en accord entre projeteurs GC et EM sur ces informations peut devenir une véritable négociation des contraintes des uns et des autres. Citons comme exemple le cas de l'estimation des dimensions d'une centrale hydroélectrique (largeur, longueur et hauteur) par les projeteurs. Une largeur minimale est requise par le projeteur GC afin de répondre aux contraintes relatives à la structure génie civil de la centrale. Cependant une largeur de la centrale maximum est requise par le projeteur EM, de sorte à disposer les différentes installations dans l'usine et satisfaire la contrainte de la puissance installée. Une largeur en dehors de cet intervalle impliquerait des changements significatifs sur la hauteur de chute.

Par conséquent, en conception hydroélectrique, les informations critiques sont celles qui se présentent au centre de plusieurs interactions durant le processus et qui peuvent impacter des informations telles que : la hauteur de chute, la puissance installée, la largeur de l'usine, etc. Leur modification peut engendrer des itérations importantes. Ce sont généralement les paramètres de conception qui sont critiques (voir à ce propos le tableau récapitulatif des paramètres de conception dans l'annexe 4).

Interdépendance des représentations

Nous avons vu dans le chapitre 1 que la complexité technique du produit et l'interdisciplinarité sont des éléments générateurs de complexité dans le processus de conception. Cette complexité apparaît, entre autres, à travers l'interdépendance des représentations du produit. Par exemple, dans la figure 12 ci-dessus, pour que les projeteurs puissent représenter les groupes turbine dans l'usine, il est essentiel qu'ils puissent représenter les différentes vues de l'usine qui permettent de visualiser la disposition des groupes turbines selon différentes vues de l'usine (coupes verticales, coupes transversales, etc.). Cela permet aux acteurs de percevoir la disposition des groupes par rapports conduites forcées, au transformateur, aux composants génie civil (les murs, les escaliers, etc.), etc. Cela dit, une vue d'une installation dans l'usine implique forcément des points de vue métiers différents. En effet, les différents liens entre les groupes turbines et les autres installations dans l'usine peuvent être perçus selon le point de vue génie civil à travers la considération de la structure génie civil entourant les différentes installations, d'un point de vue électromécanique à travers

la prise en compte des encombrements des différentes installations, et le point de vue contrôle commande par la représentation du réseau des câbles électriques reliant les installations, etc. L'intersection des différentes vues et points de vue du produit génère une multitude de représentations toutes dépendantes les unes des autres.

Nous avons également vu à travers le chapitre 1, que l'interdépendance et l'incertitude sont des difficultés du processus de conception qui sont dépendantes. Par exemple, considérer la vue transversale (figure 12) sans la vue verticale (figure 9) des groupes turbines laisse supposer un certain nombre d'hypothèses sur des informations telles que la distance séparant les groupes turbines et le transformateur, le positionnement des conduites forcées par rapport au plancher des locaux des groupes turbines, etc. ce qui implique inévitablement de l'incertitude sur ces informations.

Diffusion des représentations

Une autre caractéristique observée des représentations est qu'elles « passent » par différentes étapes en fonction de la fiabilité que les acteurs leurs attribuent pendant le processus de conception. En effet, à certains moments du processus, les acteurs ont besoin de construire la solution de conception et/ou de vérifier certaines hypothèses et/ou confronter leurs idées à d'autres points de vue et ce de manière individuelle ou dans un réseau d'acteurs très restreint. Pour ce faire, ils gardent les documents ou représentations dans leurs espaces personnels (tel que le disque dur de l'acteur) ou les partagent dans des communautés restreintes (dans des dossiers partagés par exemple). Plusieurs exemples montrent ce fait au CIH. L'exemple le plus frappant est celui observé pendant une réunion entre des acteurs GC (projeteurs et ingénieurs) et EM (projeteurs et ingénieurs) concernant un projet d'installation d'une usine. Pendant cette réunion, l'ingénieur EM a souligné que le plan GC de l'usine qui lui a été envoyé avant la réunion, lui avait prêté confusion à cause de son nom. Il se demandait aussi s'il avait la dernière version du plan GC. Il s'est avéré que ce n'était pas le cas alors que son collègue (le projeteur EM) avait bien la dernière version. En discutant avec le projeteur EM après la réunion, il s'est avéré que les plans sont généralement échangés entre projeteurs lors de visites « non officielles ». En lui demandant s'il a la possibilité de fournir les plans « intermédiaires » dans l'ordre de leur apparition après chaque modification pour un projet donné, l'acteur affirme qu'il stocke ces plans à titre personnel et il n'y a aucune trace qui détermine leur ordre. Le projeteur GC, présent à la réunion, garde aussi à titre personnel ses

plans, qu'il date (au stylo sur papier). Après le questionnement de différents acteurs au CIH, il s'est avéré que cette pratique est assez générale au sein du bureau d'étude, la majorité des plans passent par des états intermédiaires qui ne sont pas sauvegardés dans le système de gestion des données techniques.

Les acteurs (notamment les projeteurs) interrogés à ce propos avancent le fait qu'ils ont besoin, à des moments de la conception, de s'isoler dans des communautés restreintes (en général les projeteurs GC et EM entre eux) afin d'avancer dans la conception, c'est-à-dire construire la solution et/ou confronter leurs contraintes, argumenter leurs propositions, etc. Les acteurs affirment que les plans 2D sont communiqués dans un réseau plus large et plus formel, c'est-à-dire aux ingénieurs et au chef de projet quand ils sont plus ou moins surs de la solution qu'ils proposent. Les ingénieurs GC et EM, comme nous a révélé l'exemple ci-dessus, ont un rôle de validateurs des plans 2D.

Il s'agit ici d'un processus de diffusion des informations de conception où les acteurs s'engagent sur les informations qu'ils produisent pendant le processus. La diffusion se fait graduellement des périmètres de diffusion les plus personnels pour atteindre des périmètres de plus en plus larges. Nous reviendrons sur ces observations dans l'état de l'art autour de la notion de modalité d'action (cf. § 3.3.3).

Un autre aspect observé de la diffusion des représentations est que les acteurs, selon leurs besoins en conception et à des moments donnés du processus, peuvent solliciter des informations à différents niveaux de granularité. Ils peuvent avoir besoin d'utiliser des plans entiers tel que le besoin d'un projeteur GC de la totalité de la coupe verticale de l'usine pour pouvoir estimer la hauteur et la largeur de l'usine (figure 10). Les acteurs peuvent aussi avoir besoin d'une partie du plan. C'est le cas d'un projeteur GC qui a juste besoin d'utiliser la partie concernant la disposition des groupes turbine dans le plan de la figure 12, pour pouvoir estimer la structure génie civil qui les entoure ou des informations élémentaires telles que l'orientation de l'arrivée des conduites dans l'usine pour pouvoir juger de l'orientation de l'usine dans le site.

De même que les niveaux de granularité, les acteurs ont besoin, à certains moments dans le processus, d'utiliser des informations à différents niveaux d'incertitude. Par exemple, pendant les activités de faisabilité, les projeteurs EM ont besoin des plans des ouvrages qui correspondent à des représentations *imprécises*, constituées de blocs d'installations relatifs

aux principales fonctionnalités requises. C'est le cas pour les plans de faisabilité de l'usine requis par les projeteurs où il s'agit d'identifier le positionnement et le nombre des blocs relatifs aux fonctionnalités de génération de l'énergie (groupes turbines et transformateur), au levage (pont roulant), au drainage (pompe et conduites), etc.

Ainsi, outre que l'engagement des fournisseurs des informations, le processus de diffusion porte aussi sur les différents besoins émis par les utilisateurs.

2.3. Conclusion

La facette organisationnelle planifiée permet la structuration du processus de conception, la gestion des ressources et le contrôle du processus en terme de coût, de qualité, etc. Cependant de l'intérieur de l'activité, les acteurs ont besoin de gérer le processus en fonction du contenu de leurs échanges.

Nos constats sont surtout focalisés sur le cadre conceptuel de la collaboration où les acteurs mobilisent des connaissances et des objets intermédiaires. Ces connaissances doivent être partagées. Cela n'est possible que si les acteurs partagent des règles d'action, des conventions mais surtout les objets intermédiaires. Inversement, partager des représentations (objets intermédiaires) revient à partager des connaissances communes. Des acteurs comme les projeteurs GC et EM ont réussi ce défi.

Toutefois, comprendre les représentations et avoir une prise sur elles n'est pas le seul défi à relever. La communication, le partage et l'échange autours des représentations (plans 2D par exemple) sont très liés à la réalité du processus de conception. Par exemple, pendant le processus, les plans 2D sont soumis à des décisions de gel. Ces gels permettent l'avancement du processus de conception. Cet aspect contribue significativement à l'hétérogénéité du niveau d'incertitude des informations contenues dans les représentations. Ainsi certaines informations sont stables, d'autres sont incomplètes et/ou imprécises, etc.

Par ailleurs, les acteurs du processus de conception doivent pouvoir émettre des décisions de gel sur les informations contenues dans les représentations afin de permettre l'avancement du processus de conception. Cela dit, les acteurs doivent aussi considérer le niveau d'incertitude de ces informations ainsi que le niveau de risque d'itérations encouru et que les acteurs sont prêt à prendre. Cela nous permet de différencier entre les deux concepts qui sont l'*incertitude*

et la *maturité*. La maturité d'une information renvoie non seulement au niveau d'*incertitude* de l'information mais aussi au niveau d'*usage* que les acteurs sont prêts à accepter étant donné les risques d'itération engendrés par cette incertitude.

D'autres constats ont été observés pendant notre étude descriptive du terrain CIH portant sur la façon avec laquelle les acteurs diffusent les informations en conception. Les notions d'engagement des acteurs par rapport aux informations qu'ils fournissent et de besoin des utilisateurs sont principales pour la réalisation du processus de diffusion des informations.

Partie II : Etat de l'art

L'analyse présentée dans la partie I, a mis en évidence un certain nombre de caractéristiques du processus de conception. Ces caractéristiques sont dues essentiellement à l'aspect collaboratif de la conception. Le but de la partie II est de présenter un état des lieux des différentes approches et outils préconisés, dans les différentes littératures, pour l'étude du processus de conception collaborative (chapitre 3). Certaines approches adoptent une vision basée sur les échanges d'information (*information processing)*, d'autres considèrent l'activité de conception collaborative de l'intérieur et proposent une description fine de cette dernière. Le but de ce travail n'est pas d'opposer ces approches et outils mais plutôt de montrer leur complémentarité.

Le point commun de ces différentes approches de collaboration est le rôle primordial que tient l'information de conception dans le déroulement du processus de conception collaborative. La gestion de la collaboration passe inévitablement par la gestion de ces informations et particulièrement par la qualification de leur maturité. Nous proposons, à travers le chapitre 4, les différentes qualifications de la maturité proposées dans la littérature.

Chapitre 3 : Collaboration

La collaboration est un concept largement répandu dans les milieux de la recherche en gestion, en conception, en économie, etc. La définition du Petit Robert de la collaboration est *« le travail en commun, action de collaborer avec quelqu'un »*. Le verbe est soit transitif indirect (collaborer à, avec) soit intransitif (agir en tant que collaborateur). En gestion, Rioux [Rioux 2002] considère la collaboration comme *« l'établissement d'une méthode de travail connue, commune et optimisée entre un client et ses fournisseurs »*. En conception innovante, Perrin [Perrin et al. 1999] définit la collaboration comme *« l'action de travailler ensemble, de conjuguer savoir et efforts en vue de réaliser quelque chose. Le résultat n'étant pas a priori défini »*. Dans le projet ISOCELE [Blanco et al. 06], la conception collaborative est définie comme *« une situation où des acteurs apportent leur participation à la conception ou à la réalisation d'un produit »*.

Bien que les différentes définitions s'accordent sur le fait que la collaboration représente une situation où les acteurs réalisent un travail en commun, quelques différences subsistent, notamment sur l'approche d'analyse ou de gestion de la collaboration. Dans ce chapitre, nous présentons un certains nombre d'approches ou de points de vue portés sur la collaboration. Nous commençons par l'approche sociale qui considère la collaboration comme une action sociale et commune représentée par deux situations : la *coordination* et la *coopération*.

3.1. Collaboration : une action sociale

3.1.1 Coordination

La coordination est largement étudiée dans la littérature des sciences de l'organisation. Mintzberg [Mintzberg 1982] définit la coordination comme un *ajustement itératif de résultats exhaustifs*. Par résultats exhaustifs, l'auteur laisse suggérer que des acteurs effectuent leurs activités de manière individuelle et que les résultats obtenus sont améliorés par des « va et

vient » entre les activités. Cette définition montre un aspect organisationnel de la coordination.

Bareigts [Bareigts 00] renforce cette idée à travers sa définition de la *« coordination comme le processus qui vise à projeter et programmer différentes tâches, et pour distribuer des ressources. Ce processus prescriptif définit les interdépendances des activités des concepteurs.* L'auteur considère ce processus prescriptif comme un outil de gestion. Bareigts ajoute que *« la coordination est une directive pour l'action* ».

Dans la deuxième définition un aspect important est à souligner. En effet, la coordination est vue comme un processus prescriptif qui définit les interdépendances des activités des concepteurs. Se coordonner consiste à décomposer et répartir les activités entre les acteurs de la conception, mais aussi à les recomposer par le biais de liens de dépendances et ce, afin de permettre une organisation et une gestion du processus.

Zarifian [Zarifian, 1996] caractérise la coordination par la *coopération faible*. Le travail est distribué et les responsabilités ne sont pas partagées. Dans ce type de processus une attention particulière est portée sur les liens entre les activités distinctes.

Par ailleurs, De Terssac [De Terssac et al.1996] décrit la coordination comme un cadre d'une autonomie individuelle et collective limitée. Boujut [Boujut 01] avance que les acteurs ont besoin de *se coordonner autour d'objets de manière autonome. Cette régulation du processus par les acteurs eux-mêmes, permet la réalisation de la coopération.* Ainsi la coordination n'agit pas uniquement dans un cadre organisé et pré établi, elle consiste aussi en une régulation autonome entre les acteurs qui permet d'assurer la cohérence de l'action de l'*intérieur*. Une cohérence qui n'est pas forcément pré établie.

3.1.2 Coopération

Plusieurs définitions sont données de la coopération. Sardas [Sardas *et al* 00] avance le fait qu'« *au sens le plus général, la coopération est l'action collective orientée vers un même but, au travers de laquelle des sujets contribuent au même résultat ».* Cette définition rejoint l'opinion de Boujut [Boujut 01] sur le fait que « *la coopération est une action conjointe de plusieurs acteurs partageant - au moins partiellement- un but (...) C'est une action de production d'un objet. Les acteurs partagent donc à la fois des objets et des connaissances*

participant à la création d'apprentissages croisés, notamment lors de réunions informelles entre des acteurs de la filière. Mais la coopération est aussi une action d'organisation ».

La définition de Sardas montre que la coopération permet d'accomplir un travail qu'un individu ne peut pas réaliser seul. La définition de Boujut rajoute l'idée que la coopération peut concerner des buts communs entre les acteurs. Aussi la coopération requiert un certain nombre de conditions pour réussir, telles que : le partage des objets (informations), des outils et des connaissances. Ces conditions permettent le partage des points de vue entre les acteurs et participent à la création d'apprentissages croisés entre ces derniers. Ce qui permet aux acteurs de négocier leurs contraintes et de partager des représentations. Un autre message véhiculé dans cette définition est que la *coopération est une forme de coordination*. Bien que cette forme de coordination n'est pas pré-établie et est informelle, elle existe. Les observations de Boujut [Boujut 01] montrent que les acteurs pour arriver à réaliser leur but commun (trouver une solution de conception) sont appelés à organiser leurs interventions sans que cela nécessite des planifications ou une gestion des coûts formelle.

A travers les définitions ci-dessus, nous pouvons dire que la *coordination du processus* agit comme un *dispositif de planification des activités du processus de conception* qui permet d'assurer la cohérence d'action préalablement distinguée. La *coopération* est une *action de production conjointe entre les acteurs, pour atteindre un objectif commun*. La *coordination locale* est aussi *une action locale* (dans un groupe) *d'organisation de la coopération*.

La *coordination* est souvent étudiée dans la littérature des sciences de l'organisation. Elle est considérée comme une stratégie d'organisation des échanges informationnels entre les activités dépendantes. Cela est du principalement au fait que l'activité est vue, dans ces approches, comme une transformation d'informations en entrée en des informations en sortie (*information processing approaches*) [Clark et Fujimoto 1991]. Il s'agit, par ces approches, de gérer la performance du processus étant donnés les risques d'incertitude des informations échangées.

La *coopération* est plutôt étudiée par des approches sociotechniques. Plus qu'une organisation des échanges entre activités, la coopération met en avant le *processus d'échange* des informations, c'est-à-dire comment les acteurs partagent les informations dans l'activité de conception. Ce processus d'échange intègre des aspects cognitifs, sociaux et ergonomiques de l'activité de conception.

Dans ce qui suit, nous commençons d'abord par une présentation des approches orientées « échange d'information » de la coordination (cf. §3.2), ensuite nous exposons quelques démarches sociotechniques pour décrire la coopération (cf. §3.3).

3.2 La coordination comme échange d'information entre activités

On parle d'échange d'information entre deux activités si les informations produites par une activité dépendent des informations produites par l'autre activité. Selon la nature et le type de dépendance entre les informations échangées, l'impact de l'organisation des échanges n'a pas la même importance dans le processus. Une organisation aléatoire de la diffusion des informations peut engendrer des itérations importantes des activités de conception et par conséquent, impliquer des retards de développement importants. Il est donc primordial de spécifier les différentes natures et les différents types de dépendance entre les informations avant d'étudier les possibilités d'organisation de leur diffusion. La conception est vue comme une suite d'activités plus ou moins dépendantes qui produisent et utilisent des informations.

Dans la littérature, on distingue différentes natures de dépendance entre les activités. Ouertani [Ouertani et al. 06] résume les différentes distinctions selon différents points de vue présentés dans la littérature : *point de vue ressource, point de vue produit* et p*oint de vue processus*.

Steward [Steward 1981] définit la dépendance entre deux activités (ou deux données) du processus par le *niveau* (*Level Number)* qui représente l'ordre dans lequel les liens de retour (feedback) doivent être rompus. Pimmler et Eppinger [Pimmler et al. 1994] proposent le *classement* comme moyen d'évaluer les niveaux d'importance de dépendance (la valeur 1 correspond à un niveau d'importance élevé et 3 correspond à un niveau de dépendance peu important).

Par ailleurs, Browning et Eppinger [Browning et al. 2002] définissent la *probabilité de répétition* comme la probabilité que l'évolution d'une activité (ou d'une donnée) implique des itérations de retraitement sur une autre activité (ou donnée) dans le processus. Les auteurs distinguent la probabilité des *retours en arrière (itération)* vers l'activité (donnée) en amont de la probabilité *d'itération en avant (dite de second ordre)* vers l'activité (donnée) en aval (suivant une itération de retour en arrière).

Pour Kusiak et Wang [Kusiak et Wang 1995], une dépendance entre des données représente l'effet de changement d'une donnée sur une autre donnée. Pour Jin et Wang [Jin et Wang 00], deux données sont dites dépendantes si l'une des données ne peut être complétée sans l'autre. Ces définitions mettent en avant deux types de dépendance pouvant exister entre deux données du processus : la *dépendance à la création* et la *dépendance à la modification*. Deux données sont dites *dépendantes à la création* si la création de l'une dépend de la création de la seconde. Deux données sont dites *dépendantes à la modification* si le changement de l'une implique la modification de la seconde.

En outre, Yassine, Falkenburg et Chelst [Yassine et al. 1999] distinguent trois types de dépendance entre activités de conception : l'*indépendance*, la *dépendance* et l'*interdépendance. L'indépendance* correspond à la situation où il n'y a pas besoin de donnée en entrée d'une activité qui soit une donnée en sortie d'une autre activité. La *dépendance* correspond plutôt à une situation où une activité dépend seulement des activités en amont. L'*interdépendante* correspond à une situation où l'activité dépend des activités amont dont elle-même (existence de cycle de dépendance).

Suivant la nature de dépendance (*à la création et à la variation*) et la typologie de la dépendance (*dépendance, interdépendance*, etc.) citées ci-dessus, des stratégies de coordination sont préconisées. On cite parmi ces stratégies, par exemple, le *recouvrement*[39], la conception *séquentielle* et la conception concourante[40].

Toutes ces démarches oeuvrent pour l'amélioration de la performance du processus de conception. Elles proposent une organisation des échanges qui réduise les coûts et/ou les délais et/ou augmente la qualité. Dans ce qui suit, nous présentons certaines de ces démarches de coordination qui peuvent être regroupées sous le vocabulaire « *information processing* ». Pour chacune de ces démarches, nous montrons quel est l'objectif de performance visé et quelle est l'approche adoptée pour le réaliser.

3.2.1 Approche de Krishnan et al.

Krishnan, Eppinger, et Whitney [Krishnan et al.1997] ont développé un modèle déterministe basé sur les propriétés du processus de conception permettant de déterminer quand et comment deux activités du processus peuvent se chevaucher ? C'est à dire s'exécuter selon

[39] Le recouvrement correspond à une exécution chevauchée des activités avec des échanges d'informations.
[40] Par conception concourante nous entendons ici des réunions d'interaction entre les acteurs.

une période de recouvrement. Cette période de recouvrement correspond à une période où les activités échangent des informations préliminaires (instables, imprécises, incomplètes, etc.) (figure 13).

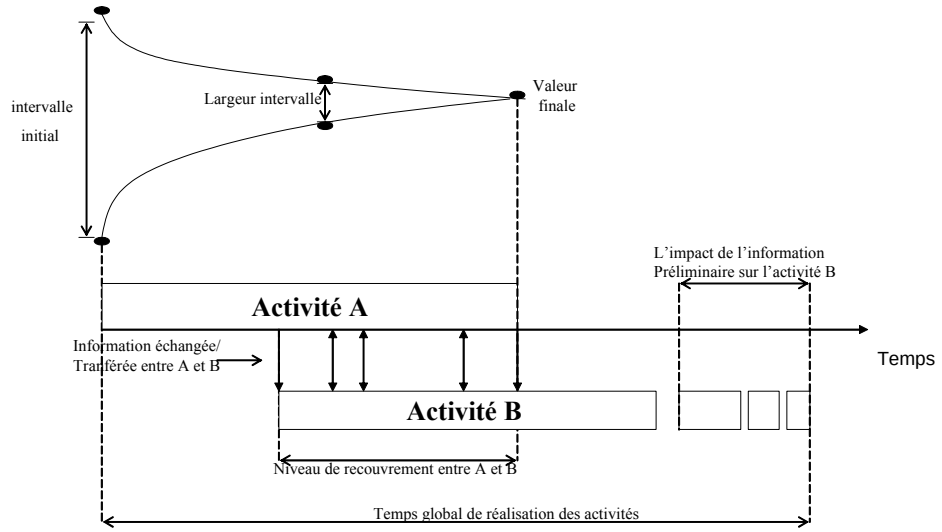


Figure 13 Modèle de coordination de Krishnan et Eppinger [Krishnan et Eppinger 1997]

Les auteurs proposent d'étudier les possibilités de recouvrement entre l'activité A et l'activité B en tenant compte de l'*évolution* (variation) des informations en amont et de la *sensibilité* de l'activité B en aval (figure 13) (cf. §4.2.1). Autrement dit, en considérant les liens de dépendance à la variation entre les activités. Les auteurs étudient l'impact des propriétés d'évolution et de sensibilité sur le temps global. En effet, plus l'activité B est sensible aux évolutions des informations communiquées par l'activité A, plus le temps nécessaire aux retraitements de l'activité B (itérations) est important et plus le temps global de réalisation du processus est important (figure 13).

Un programme mathématique a été développé afin de trouver les stratégies de recouvrement adaptées. Ce programme permet de définir les itérations sur une activité en aval en fonction de sa sensibilité aux variations des informations fournies par l'activité en amont. En fonction du résultat obtenu, une stratégie de recouvrement (les dates et période de recouvrement) des activités est définie de telle sorte à réaliser le minimum d'itération et par conséquent un minimum de temps de réalisation global.

L'objectif de ce modèle est de réduire le temps du projet en réduisant les itérations en conception. La réduction des itérations est supposée être réalisée par une stratégie de recouvrement des activités qui est définie en fonction de l'incertitude des informations

échangées et l'usage prévu de ces informations. L'incertitude, dans ce modèle est définie par le critère de variation des informations en amont et l'usage prévu est défini par la sensibilité des activités avales.

3.2.2 Approche de Loch et Terwiesch

Loch et Terwiesch [Loch et Terwiesch 1998] ont développé un modèle analytique pour la gestion des modifications qui se base sur des stratégies de coordination de l'activité de conception en amont et de l'activité de fabrication en aval. Les auteurs ont étudié les possibilités de compromis entre une stratégie de recouvrement de ces activités et une stratégie de recouvrement.

Les auteurs suggèrent que les modifications se produisent pendant la période de recouvrement entre deux activités. Ces modifications engendrent des risques d'itération de l'activité en aval. Ces risques sont d'autant plus importants quand l'incertitude est élevée, c'est-à-dire quand la les variations des informations fournies par l'amont sont élevées et quand la sensibilité de l'activité avale est élevée. Loch et Terwiesch proposent qu'une interaction des acteurs dans des réunions pendant la période de recouvrement de deux activités soit un facteur de réduction des effets des itérations en aval. Cependant, cela peut impliquer des coûts de communication importants.

Dans ces travaux, il s'agit de représenter la variation et la sensibilité sous forme d'un taux moyen de changement. Ce taux est modélisé sous forme de processus Poissonnier non stationnaire, qui se produit pendant la conception de produit (activité en amont). Les auteurs soutiennent le fait que plus tard les changements arrivent dans le processus, plus difficile est leur traitement et moindre est la contribution de la communication à la réduction des itérations.

La stratégie de recouvrement combinée à une conception concourante des activités consiste à propager les modifications sur les informations en amont le plus rapidement et le plus tôt possible vers l'activité en aval afin de réduire les itérations en aval et par conséquent de réduire le temps de réalisation global.

3.2.3 Approche de Yassine et al.

Yassine, Falkenburg et Chelst [Yassine *et al.*1999] ont également proposé de traiter les changements en ingénierie à travers un modèle probabiliste de décision. Ce modèle consiste à

identifier une stratégie optimale de coordination d'activités (amont et aval) en se basant sur les types de dépendance/interdépendance des activités. Ces liens de dépendance sont définis en fonction des critères de variation et de sensibilité des informations échangées entre les activités. La planification des transferts d'information peut être effectuée selon trois stratégies : séquentielle, recouvrement partiel et concourante. Le transfert séquentiel des informations est appliqué dans le cas d'activités dépendantes. Le recouvrement partiel est appliqué pour des activités dépendantes ou interdépendantes. Cependant, dans les deux cas, l'échange des informations doit minimiser le risque d'itération en aval quand un changement survient dans l'activité en amont. Une planification des échanges selon une stratégie concourante peut être appliquée quand les activités sont indépendantes, puisque aucun échange d'information n'est requis pour que le processus avance. Les activités, dans ce cas, sont exécutées en parallèle.

Outre la réduction du temps de réalisation du projet, l'auteur s'intéresse aux efforts[41] des acteurs générés en cas de recouvrement partiel ou de coordination séquentielle des activités.

Afin de minimiser ces efforts, Yassine propose une décomposition de l'information échangée entre les activités en informations plus élémentaires. Cette décomposition permet d'identifier avec plus de précision les informations critiques, c'est-à-dire celles qui sont très variables et/ou qui suscitent le plus de sensibilité des activités en aval. L'échange des informations obtenues doit minimiser le risque d'itération en aval quand un changement survient en amont. Par conséquent, une combinaison d'une décomposition des informations avec une stratégie de coordination est étudiée, et le risque impliqué dans le processus, pour chaque cas, est modélisé de façon probabiliste.

L'auteur conclue à travers cette étude que pour réduire les retards tout en gardant un effort de coordination acceptable, il est essentiel de combiner une stratégie de coordination avec une décomposition des informations échangées.

3.2.4 Approche de Bhuiyan et al.

Bhuiyan, Gerwin et Thomson [Bhuiyan et al. 04] explorent les liens pouvant exister entre des itérations en conception et la performance du processus. Les auteurs proposent des stratégies de compromis entre le recouvrement et la conception concourante des phases de

[41] En général, les efforts sont représentés en termes de volume d'heures ou d'hommes/mois, etc. nécessaires pour réaliser une activité de conception.

développement. Le but est de diminuer les itérations et par conséquent d'améliorer la performance du processus. La performance du processus, dans ce cas, correspond à l'effort[42] et au temps nécessaire pour la réalisation du processus de développement.

Deux types d'itérations sont considérés : les itérations de conception (*design version*) et les itérations de type « *churn* ».

Une itération de conception correspond à une remise en cause d'une information déjà transmise à une phase en aval et à l'itération effectuée par la phase amont (figure 14). Une itération de type *« churn »* représente les itérations effectuées au sein d'une même activité par des changements incrémentaux informels survenant après des interactions entre des acteurs de métiers différents (figure 14).

En utilisant un modèle stochastique, validé dans cinq compagnies différentes[43], Bhuiyan, Gerwin et Thomson examinent sous différentes conditions d'incertitude (variation et sensibilité), comment les deux taux de *recouvrement*[44] et d'*interaction entre différentes disciplines*[45] peuvent influencer le niveau de la performance du processus. Les liens entre ces taux et la performance du processus sont examinés à travers les risques d'itérations (de conception et de type « churn »).

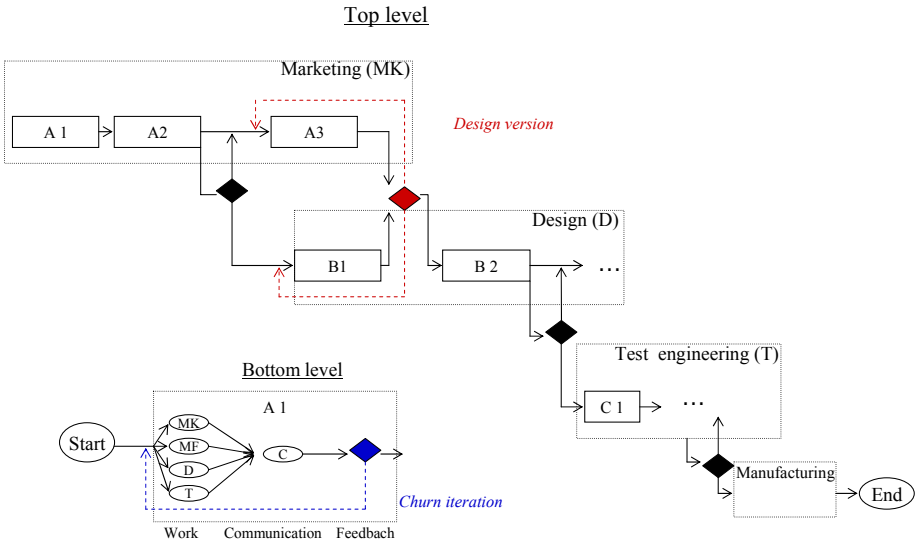


Figure 14 Modèle de processus de développement concourant [Bhuiyan et al. 04]

[42] Le total de hommes/jours nécessaires pour le projet.

[43] Les compagnies concernées par cette validation constituent des études de terrains que Swink [Swink et al 1996] a effectué quelques années auparavant. Ces compagnies sont : *Boeing, Cummins, Texas Intruments, Thomson et Red Spot.*

[44] Le taux de recouvrement représente le temps nécessaire à la période de recouvrement de deux phases de conception. Ce taux représente un pourcentage du temps de la phase en amont.

[45] Le taux d'interaction entre différentes disciplines représente le temps pendant lequel des acteurs appartenant à différentes disciplines interagissent dans des réunions de coopération.

Les résultats de cette étude montrent qu'avec ou sans recouvrement, l'augmentation des interactions multidisciplinaires peut impliquer soit un temps de développement important (avec des efforts faibles) ou des efforts importants (avec une durée faible). L'approche de recouvrement des activités sans interactions multidisciplinaires est déconseillée pour n'importe quel condition d'incertitude. En outre, l'augmentation du recouvrement entre les activités, dans le cas d'interactions multifonctionnelles, est proposée pour une faible incertitude (variation et sensibilité) et déconseillée pour une forte incertitude. L'approche séquentielle avec une équipe multifonctionnelle dédiée est plus appropriée dans le cas de faible incertitude.

Les démarches citées ci-dessus, proposent des stratégies de planification des activités étant donné la dépendance à la variation des activités. Ces dépendances sont directement liées à l'incertitude des échanges (la variation et à leur usage dans le processus (la sensibilité). Ces dépendances traduisent, selon Browning et Eppinger [Browning et al. 2002], la *probabilité de répétition d'une activité en fonction des variations incidentent dans une autre activité. C'est-à-dire que les dépendances représentent les probabilités d'itération dans le processus.*

3.2.5 Discussion des démarches basées sur la vision information

Dans ces approches l'interdépendance est vue comme des causes d'incertitude. Cette interdépendance induit des dysfonctionnements à surmonter dans pilotage du processus de conception. Il s'agit donc de répartir les responsabilités et les objectifs entre les acteurs suivant des activités de conception distinctes. Cette répartition permet l'organisation des contributions et des échanges dans le processus de conception suivant les contraintes de performance, de délais, de coûts, etc. Les dépendances entre les activités sont définies à travers les informations devant être échangées entre ces activités. Ces informations représentent des résultats obtenus des activités et devant être ajustés, dans le cas échéant, par des itérations de ces activités.

Toutefois, cette définition pré établie des dépendances est limitée. En effet, dans la réalité de l'activité de conception, certaines les interdépendances reflètent des besoins d'interactions autonomes et imprévisibles entre les acteurs. Ces interactions ne sont pas forcément à considérer comme des dysfonctionnements du processus mais comme une nécessité pour les acteurs de confronter leurs points de vue, d'argumenter leurs choix, de négocier leurs contraintes, etc. pour faire face aux problèmes de conception. C'est là où la coopération peut

jouer son rôle. Contrairement au rôle de cadrage de l'activité de conception joué par la coordination, le rôle de la coopération est de permettre aux acteurs de partager de façon autonome leurs connaissances pour atteindre des objectifs communs (des solutions communes des problèmes).

Par ailleurs, le processus de diffusion des informations est aussi à prendre en compte. Cette diffusion n'est pas binaire (l'information est diffusée ou pas) mais graduelle et adaptée à la réalité de l'activité de conception. Elle est sociale impliquant des acteurs avec des objectifs communs ou personnels, ayant des compétences, des points de vue, des règles métiers, etc. Tout le processus avec lequel les acteurs procèdent à la diffusion des informations n'est pas explicité dans les approches de coordination développées.

Pour analyser la coopération, un aspect de la conception qui échappe à la vision organisationnelle de l'activité de conception, nous présentons dans les parties suivantes, différentes approches de différents domaines de recherche : ergonomie cognitive, ethnographie, modélisation de la communication, etc.

3.3. Approches d'analyse de la coopération

Dans cette partie, la conception est présentée sous l'angle de la coopération. L'intérêt à travers cet exposé est de révéler d'autres aspects de l'activité de conception collaborative que ceux présentés par les approches précédentes.

3.3.1 Approches cognitives de la coopération

Approches centrées activité

Gero [Gero 1990], du domaine de la conception bâtiment, propose d'analyser la conception en se focalisant sur l'activité. En effet, pour cet auteur, l'activité représente un ensemble de variables de conception : *variable fonction, variable comportement et variable structure*. L'auteur avance que la conception est une transformation des fonctions en description d'un concept. Cette transformation ne pouvant pas être faite directement, elle doit passer par une structure qui modélise les composants d'un produit et leurs relations. L'auteur identifie huit activités (figure 15). Ruiz-Dominguez [Ruiz-Dominguez 05] propose ensuite d'adapter ce modèle au domaine de la conception mécanique en rajoutant des activités de fabrication et de production (figure 15).

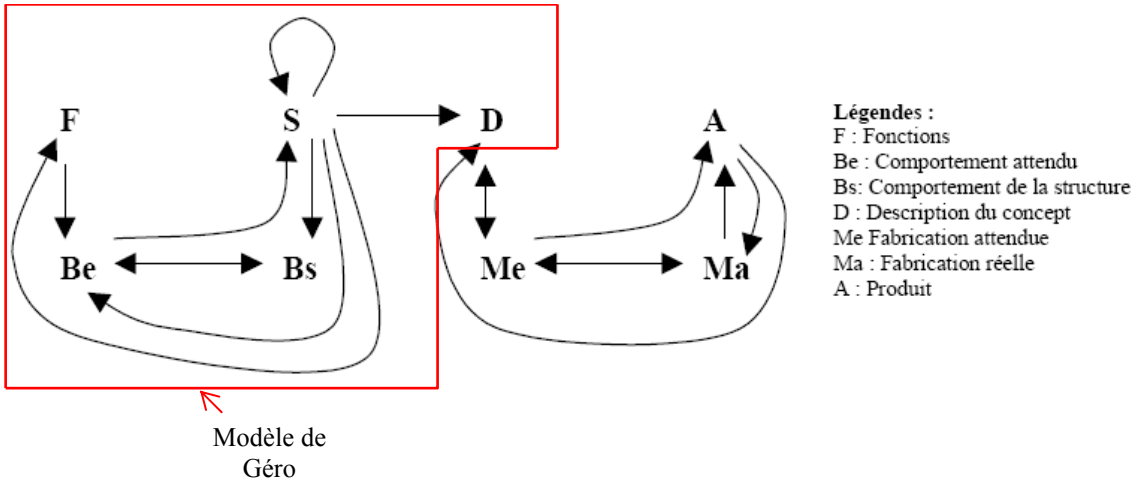


Figure 15 Modèle de conception selon Ruiz-Dominguez [Ruiz-Dominguez 05]

La coopération dans ce modèle est supposée se réaliser à travers le partage des contraintes de fabrication au plus tôt dans le processus de conception. Ainsi, les activités de définition du processus de fabrication du produit doivent être réalisées en même temps que celles de la définition du produit. C'est à dire que la partie encadrée de la figure 16 ci-dessus soit réalisée en même temps que la partie non encadrée.

Darses [Darses 1997] propose un modèle de conception qui intègre plusieurs *points de vue* dans le processus de conception. L'auteur montre que les concepteurs opèrent en mêlant spontanément plusieurs représentations de la solution de plusieurs niveaux d'abstraction : structurel, fonctionnel et physique (figure 16). Par conséquent, Darses propose de modifier la représentation du processus de conception pour en obtenir une plus adéquate.

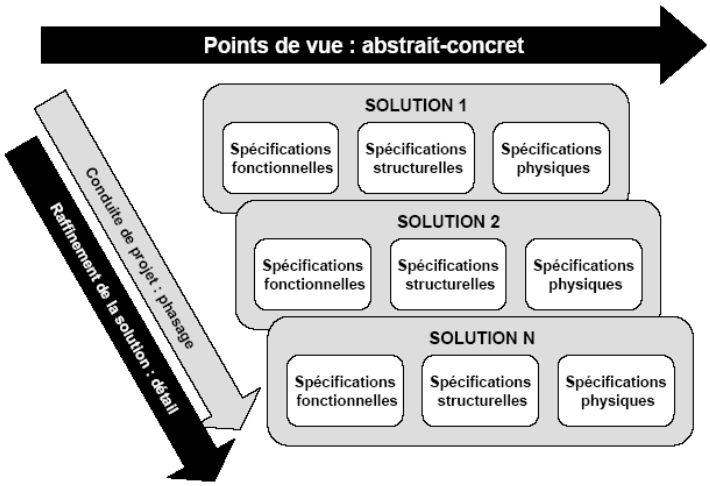


Figure 16 Modèle d'intégration des points de vue dans le processus de conception [Darses 1997].

La coopération, dans ce modèle est considérée par la prise en compte simultanée de points de vue différents et leur confrontation lors du développement de solutions. Cela est préconisé par la dissociation entre le phasage contractuel et la nature de la solution produite, au profit d'une solution intégrant différents niveaux d'abstraction et permettant la convergence de points de vue sur l'objet.

Synchronisation Cognitive

Darses [Darses 01] montre qu'un mécanisme essentiel de la co-conception est la *synchronisation cognitive.* La synchronisation cognitive permet aux acteurs de réaliser deux objectifs : elle permet d'assurer que chaque concepteur a la connaissance des faits en fonction de l'état de la situation de conception et d'autre part, elle permet de s'assurer du partage des connaissances par rapport au domaine. Ainsi, la synchronisation cognitive vise à établir un contexte de connaissances mutuelles et à construire une référence opératoire commune.

Ruiz-Dominguez [Ruiz-Dominguez 05] propose un environnement de travail pour assister la coopération des acteurs en conception, notamment, dans les situations où les concepteurs sont délocalisés dans des lieux différents et travaillent de manière asynchrone. Les résultats des travaux de Ruiz-Dominguez montrent également que les concepteurs passent beaucoup de temps à réaliser des activités de synchronisation cognitive pour parvenir à une compréhension partagée de la conception. Cette compréhension partagée peut être appliquée au processus, au produit, aux objectifs, aux acteurs, etc. Cependant, l'auteur pense que même si des réunions entre acteurs se multiplient pour permettre la synchronisation cognitive, la synchronisation est également nécessaire en dehors des réunions.
Par ailleurs, Boujut [Boujut 01] montre qu'une synchronisation cognitive n'est possible que si une organisation locale des acteurs est possible, par exemple, savoir que tel acteur a telle compétence, ou tel objet devrait être modifié à telle date par telle acteur, etc.

Ces travaux, à travers le concept de synchronisation cognitive, montrent que la coopération est un processus qui se base, en grande partie, sur le processus de clarification et d'explicitation de la conception. Ce processus est mis en place par les acteurs afin de leur permettre de partager leurs points de vue, leurs contraintes, etc. et par conséquence aboutir à une compréhension de la conception. Cela est réalisé si les acteurs peuvent aussi se coordonner localement.

3.3.2 Coopération comme processus de communication

Shannon et Weaver [Shannon et al. 1949] influencés par leur formation en mathématiques, ont introduit une nouvelle vision sur la communication humaine sous forme de modèle linaire de transmission d'information à travers des canaux de transmission entre un transmetteur et un receveur (figure 17).

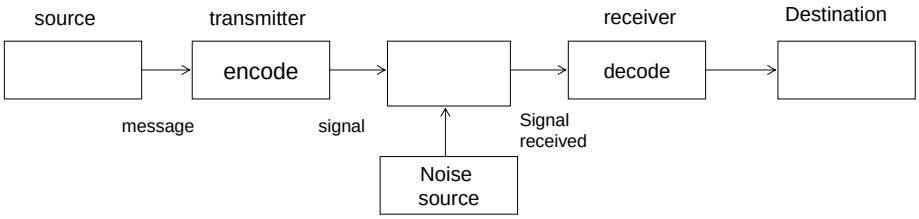


Figure 17 Modèle de communication de Shannon et Weaver [Shannon et al. 1949]

La *source* représente le décideur, c'est-à-dire la source qui décide quel message envoyer ou plutôt sélectionner parmi un ensemble de messages possibles. Le message sélectionné est ensuite transformé par un *transmetteur* à un *signal*. Ce dernier est envoyé, à travers un *canal*, au *receveur*. Le *bruit* est tout ce qui peut être ajouté au signal entre son transmetteur et son receveur qui n'a pas été envoyé de manière intentionnelle par la source. Ce qui constitue tout ce qui rend l'encodage du signal difficile.

Afin de mieux comprendre la communication humaine, Shannon et Weaver distinguent le *bruit sémantique* du *bruit ingénierie*. Le bruit sémantique est la distorsion du sens par la source, qui affecte la réception du message à sa destination. Par l'explicitation de ce bruit, les auteurs ont mis en avant la question de savoir comment les symboles de communication transmis peuvent répondre au sens attendu par le receveur ? Le bruit d'ingénierie est plus technique, il porte sur les moyens de transmission des symboles de communication.

Gerbner [Gerbner 1956] propose une amélioration au modèle de Shannon et Weaver. D'abord, l'auteur relie le message à la « réalité » sur laquelle porte ce dernier. Ensuite, Gerbner voit la communication comme un processus qui englobe deux dimensions : la dimension *perceptuelle* (horizontale) et la dimension de contrôle et de moyens de communication (verticale) (figure 18).

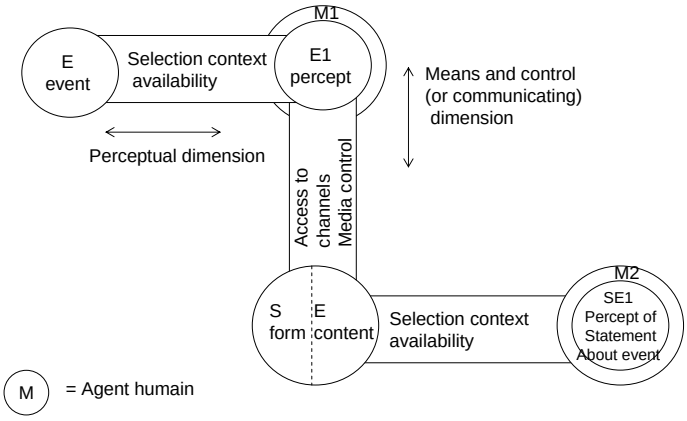


Figure 18 Modèle de communication de Gerbner [Gerbner 1956]

La *perception* humaine ne représente pas une simple réception de stimuli mais un processus d'interaction ou de négociation. L'auteur à travers cet axe (horizontal) propose de relier les stimuli externes (événement E) à des schémas internes de la pensée. Quand un tel lien est fait, l'individu arrive à percevoir quelque chose et lui donne un sens. Le sens, dans ce cas, est déduit par le lien entre un stimulus externe et des concepts internes. Ce lien est contrôlé par la culture (le contexte) de l'individu.

Suivant la deuxième dimension (verticale dans la figure 18), le précepte E1 est converti en un signal SE de l'événement E. C'est ce qui est connu sous le nom de « message ». Ce dernier est représenté en deux parties : la *forme* du message « S » (signal) et le *contenu* du message « E » (figure 18). Le contenu du message peut être communiqué par différents moyens (les S). L'axe vertical représente une sélection des moyens et le canal de communication mais aussi une sélection d'un signal (parmi plusieurs) du précepte E1.

La différence avec le modèle de Shannon et Weaver (figure 18) est que dans ce dernier le message existe indépendamment du processus d'encodage (ce qui est représenté dans le modèle de Gerbner par l'axe vertical).

Ces différents modèles de communication montrent que la communication est *un processus d'émission, de transmission et de traduction du message* transmis entre les acteurs (agents humains « Source » et « Destination »). La communication est un mécanisme technique (moyen de communication) mais aussi cognitif qui permet aux acteurs de se comprendre et donc de se synchroniser cognitivement. La communication entre les acteurs est donc l'un des piliers de la coopération.

3.3.3 Approches ethnographiques de la coopération

D'autres modèles existent pour décrire le processus de conception collaborative. Ceux-ci sont dérivés d'une autre approche que la recherche en conception. Cette approche utilise généralement les méthodes de l'ethnographie pour étudier les processus de conception. Ainsi plusieurs chercheurs ont joué sur le terrain (en entreprise) des rôles de concepteurs. Les résultats obtenus se basent sur des observations des processus de conception réels et non sur des processus créés « artificiellement » pour être étudiés.

Bucciarelli [Bucciarelli 1988] présente deux études dans son article. L'une porte sur la conception des modules photovoltaïques pour transformer la radiation solaire en électricité et l'autre porte sur la conception des appareils médicaux de rayons X. Les observations montrent que le processus de conception est un processus *collectif*, donc un processus social. Le processus de conception est une construction sociale par l'interaction des concepteurs. Les différents participants, avec des responsabilités distinctes, négocient leurs intérêts et arrivent à des compromis sur la production des artefacts.

Minneman [Minneman 1991] analyse d'autres situations : d'une part, un projet industriel de conception sur une photocopieuse et d'autre part, des expériences de conception qui se focalisent sur l'étude de la communication dans des activités de conception distribuée. Pour réaliser ses études l'auteur a utilisé une technique particulière de l'analyse ethnographique, à savoir l'analyse vidéo. Deux résultats se dégagent du travail de Minneman. Un cadre pour l'analyse de l'activité de conception basée sur les objets avec lesquels les concepteurs travaillent et la temporalité du travail réalisé. Ensuite, un ensemble de pratiques que les concepteurs mettent en oeuvre pour la réalisation de leur travail. En ce qui concerne les pratiques de l'activité de conception, quatre ont été identifiées comme cruciales dans le processus de conception : la négociation de compréhension, le maintien de l'ambiguïté, l'adéquation des communications techniques pour les destinataires et la manipulation de représentations communes. Comme nous pouvons le constater ces pratiques sont liées aux aspects de la *coopération* entre concepteurs.

Vinck [Vinck 1999] expose plusieurs études et analyses ethnographiques dans le domaine du calcul numérique, de la conception d'une turbine de peinture pour l'industrie automobile, de la conception d'un nouvel équipement pour l'industrie aéronautique, de la conception de pièces forgées d'essieux, etc. Une particularité de ces études est l'utilisation du concept

d'*objet intermédiaire* (cf. §3.4.6). Cette notion est un résultat de ces études de terrain pour analyser la coopération entre les acteurs sous certaines conditions liées non seulement à l'objet mais aussi au contexte de la conception (partage des connaissances entre les acteurs, etc.).

Star [Star 1989] [Star et Bowker 1999] introduit le concept *d'objet frontière* (*Boundary Object)*[46]. A travers ce dernier, les auteurs proposent que certains objets dans la conception, soient des supports de négociations entre différents points de vue. Les objets frontières peuvent servir d'espace de négociation aux interfaces et de supports de coopération entre les participants. Ces objets servent à différentes communautés de pratiques et satisfont les besoins d'information de chacune d'elles. Les objets frontières ne requièrent pas que les participants partagent la compréhension de l'objet (ou le partage de l'objet à un niveau cognitif) pour se coordonner. La représentation dans ce cas (objet frontière) permet à chaque participant d'avoir sa propre compréhension de la conception.

Laureillard [Laureillard 00] suggère d'instrumenter le travail coopératif et son organisation autour des *entités de coopération*. Les entités de coopération sont des représentations relatives au processus et qui sont attachées au « produit » (pièce forgée par exemple) dans un contexte bien précis. *« Leurs création est fonction des nécessités locales et leur caractère générique s'acquiert dans l'usage* ». Trois caractéristiques de coopération sont relatées des entités : *objet intermédiaire* (cf. §3.3.6), *conventions partagées* [Dodier 1993], *règles métier et règles inter métiers* créées après confrontation des expertises. Les entités de coopération jouent deux rôles distincts : elles matérialisent l'état du produit et instrumentent la coordination.

La caractéristique principale des modèles sociologiques de la conception est leur fonction descriptive. Ainsi ces modèles nous montrent comment les concepteurs coopèrent dans le processus de conception. Cette description est très détaillée et très fine. Cependant les analyses réalisées avec une approche ethnographique ne visent à décrire qu'une partie du processus de conception, notamment les moments forts ou frappants du processus.

Objet intermédiaire

[46] *Boundary objects arise over time from durable cooperation among communities of practice. They are working arrangements that resolve anomalies of neutralization (at-homeness with categories or objects) without imposing a neutralization of categories from community or from an outside source of standardization" [Star 1989].*

Différentes études [Finger 1995] [Laureillard 03] décrivent le fait que les activités collaboratives sont guidées et supportées par plusieurs *artefacts* tout au long du processus de conception. Dans les travaux de Jeantet [Jeantet 1998] et Vinck [Vinck et al. 1995], on identifie le rôle des objets dans la représentation *du futur produit* et dans l'action comme vecteurs *de communication et de médiation* entre les acteurs de la conception. Ces objets sont appelés *objets intermédiaires*[47] (OI). Quelque soit leur forme (idées, plannings, modèles CAO, diagrammes fonctionnels, langage, etc.), leur origine et leur destination, les objets sont interconnectés à la réalité du processus. En effet, les objets intermédiaires ne peuvent pas être isolés du processus et vice versa. Comme *vecteur de communication*, *l'objet intermédiaire est orienté par l'intention ou par un objectif d'un monde socio-technico-économique lié d'une manière ou d'une autre à celui de cet objectif* [Vinck et al. 1995]. Ainsi les OI permettent les interactions entre les acteurs conception, et comme *modèles du futur produit*, ils représentent l'évolution de sa conception.

Cependant tous les objets n'ont pas les mêmes caractéristiques dans la conception. Ces caractéristiques dépendent des propriétés des objets eux-mêmes et des situations d'action dans lesquelles ils sont engagés. Afin de comprendre l'évolution des objets dans les projets de conception, il est important d'étudier les pratiques des acteurs de conception. Vinck et Jeantet caractérisent les objets dans la conception selon les axes : degré de liberté que ces derniers offrent aux acteurs et rôle actif/inactif dans la conception (figure 19).

Un objet est *« comissionnaire »* (cas A et B) lorsqu'il a un rôle inactif pour l'utilisateur, et est compatible avec l'intention qui préside à sa conception. C'est à dire que l'objet commissionnaire est un moyen permettant le passage de l'idée à sa réalisation, sans que ce passage n'affecte l'idée (quelque soit la forme de l'idée : représentation mentale, texte, graphique, etc.), exemple : pour les ingénieurs et les gestionnaires, les objets sont des moyens pour réaliser un objectif (idée) comme celui définit dans un cahier des charges fonctionnelles.
« Ainsi, soit l'objet commissionnaire attire toute l'attention car on voit en lui le moyen génial de passer efficacement de l'idée à la réalité, soit on l'oublie parce qu'étant neutre, seul le jeu des acteurs en amont et en aval compte » [Vinck et al 1995]

[47] Objet intermédiaire entre différents acteurs et entre différentes phases.

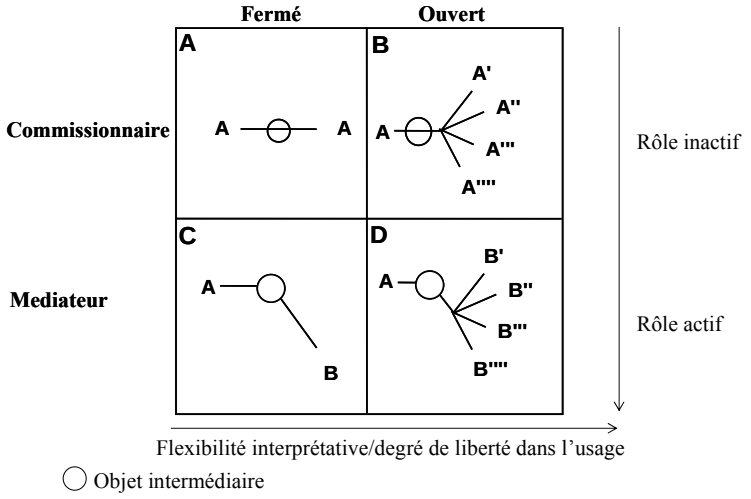


Figure 19 Degré de liberté d'un objet intermédiaire dans l'usage [Vinck et Jeantet 1995]

Le cas « A » de la figure 19 ci-dessus, correspond typiquement aux objets transmis entre acteurs dans une conception séquentielle classique. Les objets sont, dans ce cas, *« commissionnaires »* et *« fermés »* à l'interprétation et aux modifications des utilisateurs.

La caractéristique d'ouverture/ fermeture d'un objet intermédiaire ne correspond pas à un état binaire mais une évolution suivant un axe (ouvert→fermé) (l'objet se ferme graduellement).
Un objet intermédiaire n'est pas toujours ouvert/fermé, commissionnaire/médiateur, cela dépend de la situation de conception dans laquelle il est utilisé.

Cela dit, l'axe influence de l'objet (commissionnaire-médiateur) (Figure 19) semble concerner l'influence du signifiant sur l'interprétation du message transmis. Ainsi, un objet commissionnaire 'pur' possède un signifiant ne produisant aucune distorsion du message qu'il transporte. Il est difficile de trouver un exemple d'objet dont le signifiant serait purement commissionnaire. En effet, le choix d'un média de représentation (dessin, maquette, texte, langage, etc.) change le contenu du message transmis car il constitue une proposition ou un accord sur la mise en forme d'un « *monde* » [Jeantet et al. 1996] servant des actions de 'structuration' par l'utilisation de conventions, de références communes. Cette caractéristique conduit à penser que les objets intermédiaires que nous utilisons sont tous médiateurs mais dans des proportions diverses (le caractère médiateur d'une sculpture abstraite n'est certainement pas le même que celui d'un prototype industriel).

D'autre part, un objet intermédiaire *« ouvert »* (cas B et D de la figure 19) est celui qui offre à ses utilisateurs une flexibilité d'interprétation et/ou de modification. Ce cas de figure représente typiquement la majorité des objets en phase amont de la conception (phase

d'exploration du problème et des solutions). Par exemple, un cahier des charges fonctionnelles d'une centrale hydroélectrique, est un *objet intermédiaire ouvert* en phase de faisabilité. Cependant, lorsqu'on suppose que l'objet intermédiaire impose à l'utilisateur une façon d'interpréter ou d'agir (prescriptif), on dira que l'objet est *"fermé"* (cas A et C). Les objets sont *fermés* car on le décide, par une validation formelle. Citons par exemple : le dossier de faisabilité qui est fermé par la hiérarchie avant sa transmission au client. L'objet intermédiaire peut être aussi *fermé* pour certains utilisateurs. En effet, cet objet peut être une représentation qui ne donne pas de *prise* aux acteurs [Blanco 1998] et ne leur permet pas d'exprimer leurs contraintes métier et par conséquent, d'interagir sur cet objet. Citons par exemple l'objet *plan 2D coupe longitudinale d'installation hydraulique* effectué par les concepteurs GC. Ce dernier est un objet intermédiaire *fermé* pour les ingénieurs de contrôle commande.

Nous retrouvons dans l'axe ouvert/fermé d'un objet intermédiaire, deux dimensions implicites et qui sont dépendantes : le degré *de prise* offerte aux acteurs de la conception [Laureillard 00] et la *modalité d'action* que l'acteur applique sur l'objet intermédiaire [Lécaille 03].

Selon la dimension de *prise*, un objet intermédiaire est fermé s'il ne permet pas aux acteurs de partager des connaissances et de comprendre les langages des différents métiers intervenants. Par exemple : un plan 2D d métier génie civil n'offre pas de prise aux projeteurs du métier contrôle commande.

Selon la dimension *modalité d'action*, un objet intermédiaire est fermé s'il correspond à des décisions de gel que les acteurs doivent entreprendre à des moments donnés du processus de conception. Par exemple : un plan 2D sur la structure génie civil d'un ouvrage hydraulique dont l'implantation sur le site et l'orientation ont été décidées, offre moins de prise au concepteur électromécanique pour définir l'emplacement des installations électromécaniques dans les ouvrages. Ce dernier point correspond aux modalités de validation entreprises sur l'objet afin de faire avancer la conception.

Les approches ethnographiques montrent qu'outre la représentation du produit, un objet intermédiaire est un support de l'activité de conception collaborative. Il joue le rôle de *vecteur de communication (de traduction*) et de *médiateur* entre les acteurs de la conception.

Modalité d'action et processus d'échange

Il peut y avoir plusieurs modalités d'action : modalité de création, de proposition de solution, de négociation, d'argumentation, etc. selon les objectifs de l'acteur de conception et de la capacité de prise qu'il a sur l'objet.

Lécaille [Lécaille 03] définit l'axe modalité d'action comme la modalité d'usage qu'un acteur applique sur un objet intermédiaire dans un *espace de conception* donné. Cet auteur associe trois états des objets selon trois modalités d'usage (figure 20) :

- *Le brouillon* se réfère aux *objets intermédiaires* auxquels s'applique une *modalité de création* et de *validation d'hypothèses* ou de solutions apportées à un projet ou un problème. Ceux-ci sont définis par un acteur isolément ou conjointement avec d'autres acteurs qui mobilisent des graphismes sur des objets traçables.

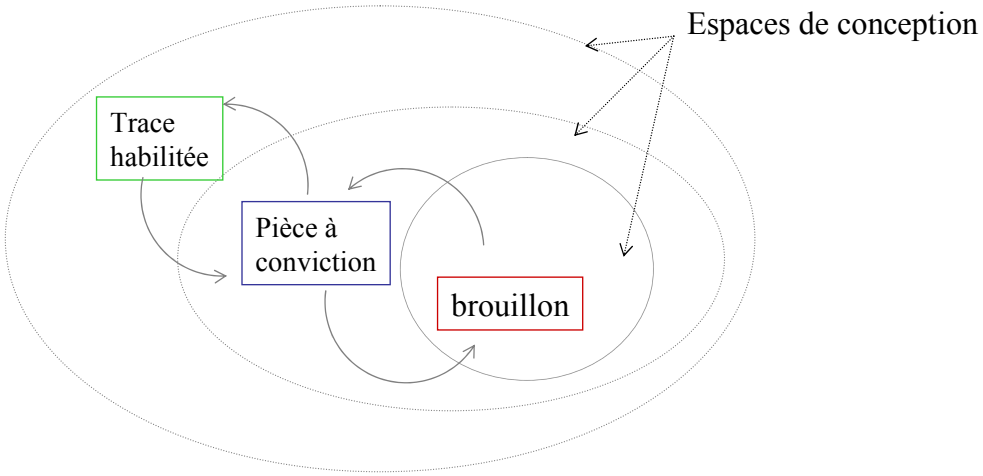


Figure 20 Modalités d'action et processus d'échange des objets [Lécaille 03]

- *La pièce à conviction* se réfère aux objets intermédiaires auxquels s'applique une *modalité de persuasion (d'argumentation)* en rapport avec ce qui est représenté soit pour convaincre de l'existence d'un problème soit pour donner à voir une solution et permettre la construction conjointe et l'échange de point de vue.

- *La trace habilitée* se réfère à un *objet intermédiaire* auquel s'applique une *modalité de consentement* à la circulation sans contrainte. C'est un objet que l'acteur accepte de laisser partir de son espace de conception suite à son consentement ou à l'adhésion à une prescription émise par le collectif auquel il participe.

Le terme *trace habilitée est à différencier du terme traçabilité.* Ce dernier s'inscrit dans une démarche gestionnaire qui a comme objectif de conserver des données en vue de les réutiliser. La trace habilitée, comme Lécaille l'avance, est le fondement qui permet à un acteur de valider le passage d'une donnée en dehors de *l'espace de conception* constitué par son action.

En effet, un acteur avant de publier une information aux autres acteurs de la conception se doit de la vérifier, car il s'engage sur sa qualité.

En plus de ces trois états des objets intermédiaires définis par Lécaille, on identifie un état classique qui est le *livrable* (cf. §1.1.5). Ce dernier correspond à un objet intermédiaire soumis à des modalités de *vérification* et de *validation formelles* (par la hiérarchie) à la fin d'un processus de conception. Les livrables sont les supports de prescriptions, souvent contractuels (dossier de faisabilité contracté avec un client) et sont communiqués à des acteurs externes à l'organisation : clients, fournisseurs, partenaires, etc. Certains objets intermédiaires passent de l'état *« brouillon »* et/ou *« pièce à conviction »* et/ou *« trace habilitée »* à l'état *« livrable »* suite à une validation formelle. Contrairement aux autres passages, le passage de l'objet à l'état *livrable* est irréversible pendant un processus de conception.

La diffusion des objets n'est pas linéaire, c'est à dire qu'un objet à l'état *« brouillon »* peut passer soit à l'état *« pièce à conviction »* soit directement à l'état *« trace habilitée »* et un objet en état de *« pièce à conviction »* peut passer à l'état *« trace habilitée »* ou à l'état de *« brouillon »*, etc.

La *diffusion* d'un *objet intermédiaire* est donc un *processus d'échange* permettant la construction conjointe et graduelle des informations de conception. Ce processus dépend des *modalités d'usage* (ou modalités d'action) que les acteurs peuvent appliquer sur l'objet (*création, vérification, argumentation, etc.*). Les différents états d'un objet (*brouillon, pièce à conviction, etc.)* traduisent ces modalités d'action.

Nous formalisons ces passages entre les différents états d'un objet intermédiaire sous forme de diagramme d'état transition ci-dessous.

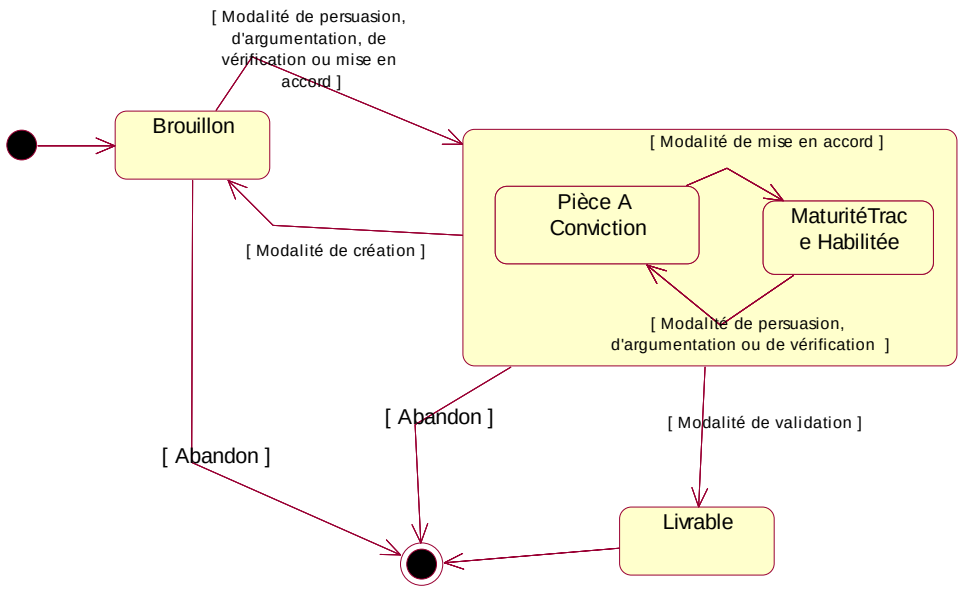


Figure 21 Diagramme d'état/transition UML d'un objet intermédiaire soumis à des modalités d'action pendant un processus de conception

3.3.4 Discussion des approches d'analyse de la coopération et comparaison avec les approches de coordination

Les approches d'analyse de l'activité de conception présentées ci-dessous, permettent la description de l'activité de conception sous l'angle de la coopération, c'est-à-dire comme une production conjointe de la conception. Ces approches montrent que pour mener à bien une activité de conception, les acteurs doivent coopérer c'est-à-dire, ils doivent :

- partager simultanément leurs points de vue et les confronter afin de converger vers la solution,

- se synchroniser cognitivement, c'est-à-dire partager des connaissances sur la conception à travers un processus d'explicitation et de clarification de la conception et se coordonner localement,

- communiquer à travers un processus d'émission, de transmission et de traduction des informations (selon différents langages métiers),

- manipuler des informations qui jouent le rôle d'objet intermédiaire nécessaire à la représentation du produit et à la communication et la médiation entre les acteurs,

- diffuser les informations (objets intermédiaires) selon un processus de construction graduel et selon les modalités d'action des acteurs.

Ce dernier point met en avant un aspect important dans la gestion des échanges informationnels qui est que cette gestion devrait être non seulement portée sur l'incertitude des informations (approches de coordination) mais aussi sur les modalités d'action des acteurs pendant la conception.

L'ensemble des analyses faites dans les sections §3.2 et §3.3, permet de dégager les principales éléments de différenciation entre la coordination du processus et la coopération [Grebici et al. 06b]. Le tableau ci-dessous explicite ces différences et représente une grille d'analyse de situations de collaboration.

1. *Objectif de la collaboration* : Par définition la coordination est un dispositif de planification des activités de conception. La coopération représente une production conjointe.

2. *Partage des responsabilités :* Cette différenciation découle des définitions de la coordination et de la coopération. Dans une coordination les responsabilités et les rôles sont identifiés et distribués parmi les acteurs impliqués (tableau 3). Par contre dans une coopération, il est difficile d'identifier les responsabilités des uns et des autres. Dans ce cas, les *prises de décision sont communes* (tableau 3).

Eléments de différenciation	**Coopération**	**Coordination**
1 Objectif de la collaboration	- Production conjointe	- Gestion et planification du processus de conception
2. Partage des responsabilités	- Responsabilités partagées	- Responsabilités non partagées
3 Répartition des objectifs.	- Objectifs communs.	- Objectifs distribués.
4 Partage des connaissances	- Nécessaire	- Pas nécessaire
5 Diffusion des objets intermédiaires	- Selon les modalités de création conjointe, de confrontation, d'argumentation, etc.	- Selon une modalité de mise en accord
6 Rôle des objets intermédiaires	- Vecteurs de communication (ouverts)	- Supports de résultats (fermés)
7 Type de dépendance	- Interdépendance	- Dépendance

Tableau 3 Eléments de différenciation entre une situation de coordination et une situation de coopération

3. *Répartition des objectifs* : cette différenciation résulte également des définitions de la coordination et de la coopération. Dans la coordination les objectifs sont bien répartis entre les différentes activités. Au contraire, dans une coopération, les objectifs sont, au moins partiellement, communs.

4. *Partage des connaissances :* L'une des conditions pour qu'une coopération entre les acteurs se réalise est le partage de règles métiers, de conventions [Dodier 1993], des représentations et par conséquence le *partage de connaissances* [Boujut 02] (tableau 3). Ce sont des connaissances à la fois sur la situation de conception mais aussi des connaissances du domaine. Dans une situation de coordination, seuls les résultats des actions sont mis en commun. Il n'est donc *pas nécessaire de partager des connaissances* pour se coordonner (tableau 3).

5. *Diffusion des objets intermédiaires :* Dans le cas de coordination, la diffusion représente un échange d'information entre les activités. Ces échanges portent sur la mise en accord entre les émetteurs et les utilisateurs des objets intermédiaires. Cette mise en accord porte, entre autre, sur l'incertitude des objets émis (exemple : la variation) et par l'usage prévu (exemple : la sensibilité) de ces objets par les utilisateurs. Dans le cas de la coopération, la diffusion est considérée comme un processus obéissant à des modalités de création, de confrontation des contraintes et d'argumentation des propositions entre les acteurs autour des objets intermédiaires.

6. *Rôle des objets intermédiaires* : Dans une situation de coordination, les objets jouent un rôle prescriptif permettant *le support des résultats des activités (objets intermédiaires fermés)* et leur ajustement par les activités planifiées (des processus/phases) (tableau 3). Par contre dans une situation de coopération, les objets échangés jouent un rôle de *vecteur de communication* (objets intermédiaires ouverts) entre différents points de vue (tableau 3).

7. Type de dépendance : Dans la coordination, l'ordonnancement des dépendances entre les activités est connu. C'est-à-dire on sait dans quel ordre le sens de la dépendance entre les activités doit être lu. Par contre, dans une coopération, l'ordre ou le sens de dépendance est inconnu. Dans la coordination, on parle de *dépendance* et dans la coopération on parle d'*interdépendance*. Ce point sera détaillé dans le chapitre 7 de cette thèse.

Les quatre derniers éléments (partage des connaissances, diffusion, rôle des informations et type de dépendance entre les activités) nous semblent des critères clés de différenciation entre la coopération et la coordination. Nous reviendrons sur ces aspects dans les chapitres 5, 6 et 7.

Ces critères révèlent un certain nombre de fonctionnalités qu'un système support à l'activité de conception collaborative doit remplir. Par exemple, les points 1, 2 et 3, concernant la coordination révèlent le besoin d'une planification a priori du processus de conception. Les points 1, 5 et 7 concernant la coordination montrent le besoin d'une planification dynamique du processus en fonction de l'incertitude des informations et de leurs usages dans le processus. En outre, le point 4 concernant la coopération met en évidence le besoin de support de la synchronisation cognitive (partage des connaissances) entre les acteurs pendant la conception. Les points 5 et 6 révèlent le besoin de pilotage de la diffusion des informations selon les modalités d'action, l'incertitude des informations et de leurs usages dans le processus.

Ainsi, notre intérêt pour les situations de collaboration nous a amené à nous intéresser aux principaux outils de collaboration existants. Dans la partie § 3.4 suivante, nous commençons par présenter les principales fonctionnalités de ces outils. Ensuite (§3.5), nous effectuons une confrontation de ces fonctionnalités aux besoins identifiés dans les parties §3.1 et §3.2 ci-dessus.

A noter que dans la suite de ce travail, nous entendons par la collaboration soit la coopération soit la coordination, telles qu'elles sont définies dans la partie § 3.1 ci-dessus.

3.4 Typologies des systèmes de gestion de la collaboration

Afin de permettre la mise en place de la collaboration au sein d'un groupe, la littérature des systèmes de gestion de la collaboration [David 2001] [Ellis 1991] [Laurillau 02] [Salber 1995] [Tarpin-Bernard 1997] met en évidence trois fonctionnalités : la *communication*, la *production* et la *coordination*. Ces trois fonctionnalités ont été organisées par Salber [Salber 1995] dans un modèle appelé *« modèle du trèfle »*, dont la représentation se trouve dans la figure 22.

La première dimension, *communication*, couvre l'échange d'information entre les membres du groupe. La deuxième dimension, *production*, permet la réalisation des tâches ou la production

d'artefacts au sein du groupe. Enfin, la troisième dimension, *coordination*, implique le contrôle de l'ensemble de l'effort collectif afin d'atteindre l'objectif commun. Il s'agit ici d'attribuer les responsabilités de chaque membre du groupe et de contrôler l'exécution des tâches nécessaires.

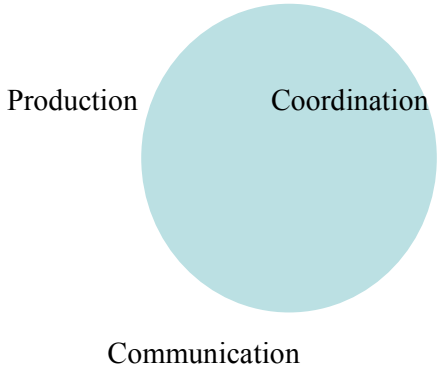


Figure 22 Trèfle fonctionnel d'un collecticiel [Salber 1995]

Chacune de ces fonctionnalités est essentielle au travail collaboratif : on n'a pas de *production* sans *communication* et sans *coordination* entre les membres du groupe. Par ailleurs, la *coordination* assure l'efficacité du groupe dans la réalisation des tâches, ce qui permet la *production* collective du groupe en assurant la synchronisation relative du travail commun et en gérant les éventuels conflits [David 01].

Par rapport à notre point de vue sur la collaboration (coopération et coordination) résultant des analyses des parties § 3.1, les fonctionnalités communes de *production,* de *communication* et de *coordination* correspondent à une fonctionnalité qui est la *coopération* (figure 23). En effet, on a vu que la *coopération* est l'action conjointe de *production* (cf. § 3.1.2) et pour coopérer il faut un minimum d'organisation et donc de *coordination locale* (cf. §3.1.2). Tel qu'il est exposé dans le paragraphe ci-dessus, il n y a pas de *production* sans *communication* et donc pas de *coopération* sans *communication*.

La fonctionnalité de *coordination* dans le trèfle de la figure 23, correspond soit à une fonctionnalité de *coordination du processus* ou du projet (un dispositif de planification des activités qui permet d'assurer la cohérence d'action préalablement distinguée cf. §3.1), soit à une fonctionnalité de *coordination locale* (un dispositif d'organisation de la coopération) (figure 23). Chaque partie du trèfle représente la fonctionnalité ou les fonctionnalités

essentielles pour la réalisation d'un aspect de la collaboration. Cela n'exclut pas le besoin d'autres fonctionnalités du trèfle mais de façon moins importante.

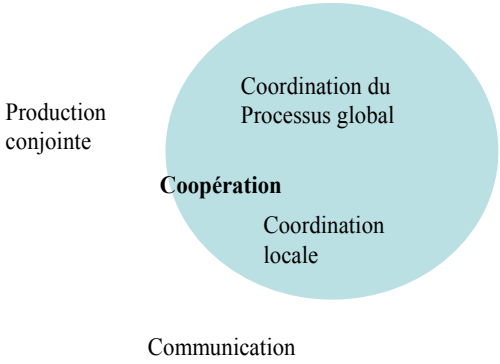


Figure 23 Les fonctionnalités du trèfle revisités en fonction de la vision de la collaboration en conception de produit.

Nos investigations des différents outils de collaboration existants nous ont amené à distinguer deux catégories d'outils dédiés à la gestion de la collaboration : les Systèmes de Gestion des Données Techniques (SGDT) et les systèmes de Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO). Le choix des outils TCAO est évident puisqu'ils proposent de supporter la collaboration, c'est-à-dire l'ensemble des fonctionnalités du trèfle ci-dessus.

Par ailleurs le choix des SGDT comme une famille d'outils importante pour la gestion de la collaboration, se justifie par le fait que certaines données de conception jouent le rôle d'objets intermédiaires qui sont des supports de l'action de conception collaborative (§3.3.3). Ainsi, la gestion de la collaboration passe inévitablement par la gestion des objets intermédiaires. D'où notre intérêt pour les SGDT. Dans le trèfle ci-dessous (figure 23), les SGDT contribuent principalement à la production (conjointe) et à la communication.

Nous présentons dans les parties §3.4.1 et 3.4.2 suivantes, les fonctionnalités offertes par les SGDT et par les TCAO respectivement. Nous expliquerons pourquoi nous considérons que les SGDT et les TCAO actuels, bien qu'ils soient forts utiles pour la collaboration, ne répondent pas complètement aux fonctionnalités identifiées dans les parties §3.2 et §3.3 ci-dessus.

3.4.1 Systèmes de Gestion des Données Techniques

Diverses descriptions des fonctionnalités existantes ou requises des SGDT sont présentées dans la littérature [Obank et al 05] [Peltonen et al. 1996] [Chen & Tsao 1998]. Chacune de ces descriptions met en évidence un certain nombre de fonctionnalités. Nous récapitulons dans ce qui suit les principales :

- *Structurer les données :* Un SGDT permet l'association d'un composant donné (un nœud de la nomenclature) aux différents documents qui lui sont associés. Pour augmenter l'efficacité de la gestion du produit, ces systèmes se basent sur une description des données techniques (documents et nomenclatures) par des attributs (les objets et les liens) et une structuration de ces attributs. Ce qui permet plusieurs possibilités de tri et de recherche sur les données.

- *Classer les données :* Avec le volume important des données générées, une technique pour classifier facilement et rapidement ces données est nécessaire. Grâce à la description des données par les attributs, plusieurs possibilités de classification sont offertes par les SGDT. La classification peut être par famille ou par groupe de composants.

- *Visualiser et stocker les documents :* certaines informations produit sont définies et archivées dans le SGDT grâce aux classes et attributs associés mais d'autres informations documentant le produit tels que les plans CAO, les photos numérisées, etc. ne sont que référencés. Ceux-ci doivent être alors visualisés via le SGDT grâce à des "moteurs" de visualisation[48] (*Viewer*) disponibles dans les SGDT.

- *Définir les liens entre les données* : Cette fonctionnalité consiste à définir les liens entre les différents objets définis. Cela permet entre autres de structurer le produit en terme de nomenclatures. Ces dernières définissent la décomposition du produit selon différentes vues du produit et servent aux divers acteurs de l'entreprise (nomenclature fonctionnelle, nomenclature organique, nomenclature géométrique, etc.).

- *Gérer l'évolution des données* : Un produit est amené à évoluer durant son cycle de vie et les données qui lui sont rattachées sont alors évolutives. Pour garder trace des diverses modifications apportées aux informations produit, différents indices d'évolution sont affectés à ces informations pour distinguer les diverses versions ou révisions. Par ailleurs, pour changer d'indice d'évolution, une information du produit suit un processus de modification.

[48] Ce sont des formats d'interprétation pour la représentation alphanumérique ou graphique qui permettent d'archiver la donnée sous son format d'origine.

Selon l'avancement de ce processus, l'information modifiée acquiert divers statuts (*créée, soumise, libérée, validée, etc.*).

- *Protéger les données* par un contrôle des modifications et des accès. Différentes autorisations sont définies pour les acteurs ou les groupes d'acteurs. Une autorisation est un droit pour exécuter certaines fonctions (consulter, créer, modifier) sur les données selon le statut de ces dernières.

- *Distribuer les données* sur tous les sites et à toutes les fonctions. Les bases de données réparties ne sont pas très courantes, surtout sur des sites distants et hétérogènes. Le transfert de données créées ou modifiées est parfois automatisé grâce à une notion « d'abonnement »[49] proposée dans certains SGDT.

- *Discipliner la création et l'évolution des données :* Une création ou une modification d'une donnée est généralement référencée par un numéro de dossier (ECO[50]). Dans le cas d'une modification, celle-ci est initialisée par un ECR[51] . La création ou la modification doit être validée par un responsable de l'ECO. Les modifications sont alors introduites dans le modèle de données qui est complété éventuellement par une recopie sur les différents sites. Le suivi des différentes étapes du processus (instruction, validation, etc.) est assuré par un Workflow jusqu'à la validation définitive.

- *Structurer l'instruction d'un dossier* et sa chronologie *(Workflow) :* Le workflow consiste en une représentation graphique d'entités et de relations. A chaque entité est attachée une classe et des attributs : responsables, durée de la tâche, début et fin au plus tôt et au plus tard, description et quantification des ressources, personnes à prévenir, dispatching, validation, etc. Cette gestion des procédures porte sur la nature des tâches, leur enchaînement et la surveillance des délais. Elle nécessite un courrier électronique. Toutefois, il n'y a pas d'ordonnancement des ressources ou de calcul des chemins critiques, ni de lien dynamique avec les données manipulées dans ces procédures.

---

[49] Seules les données qui concernent la liste des produits auxquels chaque site est "abonné" sont transmises [Randoing, 1995].

[50] *Engineering Change Order.*

[51] *Engineering Change Request.*

Le fait par exemple de décider de changer de version d'un document à un moment donné du workflow, ne met pas à jour automatiquement l'objet concerné et ne propage pas l'impact de ce versionnement sur le reste des données.

L'ensemble des fonctionnalités ci-dessus, permet de rendre collective l'information, de retrouver l'information à jour (ne pas fabriquer avec des données erronées ou incomplètes), d'automatiser les notifications et les diffusions pour converger vers le zéro papier, d'avoir un référentiel unique pour tous les intervenants avec des vues par métier. Ce qui est nécessaire pour la réalisation de l'activité de conception collaborative.

Cependant, les SGDT semblent ne pas gérer les objets intermédiaires (cf. §3.3.3). En effet, le concept d'objet intermédiaire est plus large que celui de donnée technique. Il ne s'agit pas que de représentations du produit mais aussi d'un support de médiateur (ou vecteur de communication) entre les acteurs.

La diffusion des objets intermédiaires ne doit pas être restreinte à des états binaires (diffusés ou non diffusés) mais à des états permettant la construction conjointe de la solution de conception. Il s'agit donc d'un processus de diffusion où les états de diffusion dépendent de la nature des objets, c'est-à-dire de leurs caractéristiques (incertitude cf. §3.2.1) et de leur usage dans le processus (modalités d'action cf.3.3.3).

Bien que certains travaux [Rivière 04] [O'Donovan 03] [Culley et al. 05] proposent des SGDT qui gèrent la diffusion des informations en considérant plusieurs états intermédiaires de ces dernières (*évaluation initiale, information en cours, information à prendre avec précaution,* etc.), la nature de l'information n'est considérée que partiellement.

3.4.2 TCAO

L'objectif du TCAO est de permettre à un collectif d'acteurs de travailler ensemble via une infrastructure informatique [Benali 02]. D'une façon plus générale, l'objectif est d'étudier les mécanismes liés au travail en équipe et de proposer les outils informatiques pour les faciliter. Selon Ellis [Ellis 1991], le TCAO observe comment les groupes travaillent et cherche à savoir comment l'informatique peut les aider dans leur travail.

L'identification des fonctionnalités dans le trèfle de la figure 22 (coordination, production et communication), a permis à Balmisse [Balmisse 04] d'identifier plusieurs plateformes de travail collaboratif. Cette analyse met en avant sept catégories de systèmes : *portail espace*

projet-bureau virtuel, collaboration en temps réel, localisation d'expertise, groupeware, groupe de discussions, publication collaborative et workflow (figure 24).

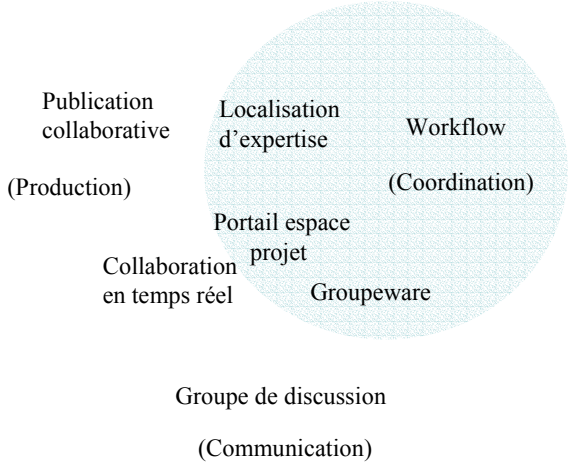


Figure 24 Typologie des outils de travail collaboratif [Balmisse 04]

Les *portails-espaces projet ou bureaux virtuels* permettent de créer des espaces de travail facilitant le partage de documents et la gestion des tâches de projet. Ces systèmes permettent aussi une gestion avancée des membres de différents groupes. Ils offrent des fonctionnalités de bureau virtuel permettant aux membres de gérer leurs informations personnelles. Un exemple de portail-espace projet est l'outil *Sharepoint Portal* de Microsoft.

Les outils de *collaboration en temps réel* offrent des fonctionnalités permettant d'interagir de façon synchrone sur l'organisation de présentations en ligne, sur la co-conception, etc. on cite comme exemples d'outils de collaboration en temps réel : le *MSN Messenger*, le *Web-conferencing*, etc.

Les *systèmes de localisation d'expertise* permettent d'identifier des experts et favorisent l'échange et la mobilisation des expertises en facilitant la mise en relation des individus. Ils permettent aussi de capitaliser les échanges pour une réutilisation des savoirs, telles que les plateformes de *Kamoon* et de *Tacit*, etc.

Les outils type *groupe de discussions* permettent de créer, de s'inscrire et de participer à des discussions généralement opérées par messages électroniques. La plateforme de groupe de discussions la plus populaire est celle de Yahoo Groupe.

Les plateformes de *publication collaboratives* offrent les fonctionnalités de production de documents par un groupe d'individus. On peut citer les systèmes de gestion de contenu collaboratif type *SPIP,* les outils *Wiki*, les systèmes d'édition partagée et de gestion documentaire tels que *DocuShare* de *Xerox*.

Se présentant comme une suite logique de la messagerie, les systèmes *groupeware* permettent non seulement d'échanger des informations, mais aussi de travailler en commun dans le but de réaliser des tâches communes. Citons comme exemples d'outils groupeware : Domino (Lotus), Exchange-Outlook (Microsoft) et Groupewise (Novell).

Parmi les systèmes groupeware, il y a les systèmes *workflow* permettant la gestion des processus liés à des groupes de travail. Ces systèmes facilitent la formalisation et la définition des éléments clés d'un processus : les tâches, leur ordonnancement, les intervenants et leur rôle, les données nécessaires, etc. les outils workflow ont une fonction d'organisation du processus. Ils permettent de définir des tâches dans les délais impartis, d'affecter des acteurs à des tâches, de définir des données associées, etc. parmi les outils Workflow on cite : *Lotus Workflow*, *Staffware,* etc.

Les *groupewares* sont les plateformes qui nous semblent les plus pertinentes pour la gestion du processus de conception collaborative basé sur la gestion des informations. Ainsi nous consacrons les trois prochaines parties dans l'explication des fonctionnalités offertes par ces systèmes.

Groupeware

D'après Saadoun [Saadoun 1996], le groupware n'est pas seulement un produit logiciel, mais un mode de fonctionnement en équipe qui facilite et améliore la coopération, la communication et la coordination (les 3C). Il implique simultanément trois constituants indissociables :

- le management, c'est à dire la gestion des hommes, des métiers et des compétences,
- l'organisation qui détermine le processus de travail,
- les technologies de l'information, qui apportent les moyens pour faire vivre les processus.

Il existe différentes typologies d'outils de groupware. Les outils peuvent être ainsi classés en regard de leurs apports en matière de communication, de coordination et de coopération.

On peut également proposer une taxinomie selon quatre grandes classes d'outils :

- les outils de communication de base (mail, tableau blanc, vidéoconférence, etc.),
- les espaces de travail partagé (partage d'applications, forums, etc.),
- les outils d'accès au savoir ou de Knowledge Management (bibliothèques, portails, etc.),
- les outils de workflow (outils de gestion des tâches, de synchronisation, agendas partagés, etc.).

La mise en oeuvre de ces quatre dimensions fonctionnelles exige qu'un certain nombre de défis techniques soient relevés. En effet, les éléments techniques nécessaires pour supporter le travail collaboratif sous toutes ses formes sont nombreux : distribution des objets partagés, accès concurrents à ces objets, gestion des droits d'accès, etc. [Benali 2002].

L'aspect social intrinsèque aux collecticiels impose également que le partage des objets soit explicite. Par exemple, le contrôle d'accès et le contrôle de concurrence peuvent conduire à l'impossibilité de disposer de l'information demandée dans un certain délai, qui doit cependant être compatible avec les attentes des utilisateurs [David 01]. Ceci implique que les coauteurs doivent être avertis des problèmes soulevés lors de la production.

En effet, lorsque deux utilisateurs veulent faire deux actions antagonistes sur un objet partagé, le système ne doit pas seulement faire en sorte que l'objet reste cohérent, il doit aussi permettre aux utilisateurs de prendre conscience du problème car, très souvent dans une activité collaborative, c'est lors de la manifestation du conflit qu'apparaissent la négociation, la discussion, l'innovation et la créativité [David 01].

Le fait d'informer les participants sur les actions des autres membres du groupe relève de la conscience de groupe. La notion de *conscience de groupe* (*Awareness*) est un concept clé du TCAO qui fait référence au fait qu'un membre du groupe a connaissance de la présence des autres participants et de leurs activités. Un deuxième concept clé des TCAO est la *coordination* qui représente l'organisation du travail et cela par le biais des *workflow*.

Dans les deux prochaines parties, nous présentons les deux principales familles de groupewares, à savoir les « *outils de conscience de groupe* » et les *« workflow »*.

Conscience de groupe

La recherche dans les domaines de l'IHM[52] et du TCAO utilise la *conscience de groupe* (*Awareness*) comme la compréhension des activités des autres qui fournit un contexte

[52] Interaction Homme-Machine.

pertinent pour notre propre activité [Dourish et Belloti 1992]. Ce contexte permet d'assurer que les contributions individuelles sont pertinentes à l'activité du groupe ainsi qu'à l'évaluation des actions individuelles par rapport au progrès et objectifs du groupe. La conscience de groupe permet de réduire les erreurs dans la conception, de réduire les efforts et par conséquent d'augmenter l'efficacité du travail collaboratif dans les espaces partagés [Gutwin et al. 02]. Seulement comment opère la conscience de groupe ? Il faut savoir que ce concept constitue une démarche d'assistance aux acteurs à trois niveaux : mettre à disposition les informations nécessaires pour la conscience de groupe, recueillir les informations à partir de l'espace partagé pour la conscience de groupe, et enfin utiliser la conscience de groupe dans la collaboration. Par ailleurs, nous identifions trois types de conscience de groupe [Benali et al 02] [Bouthier 04], chacun représentant un aspect de cette dernière : le « *group awareness »* a pour but de rendre tangible le travail d'un groupe et de permettre la conscience de l'état des activités des partenaires *;* le « *workspace awareness »* est défini comme la compréhension des interactions, au moment présent, des autres participants dans l'espace de travail partagé et enfin, le « *process awareness »* permet aux acteurs de situer leurs actions au niveau coordonné et global du projet.

Par ailleurs, la coordination présente dans les équipes travaillant dans le même lieu et en même temps, diminue fortement lorsque les acteurs sont répartis dans le temps ou dans l'espace. Il en résulte pour ces acteurs une plus grande difficulté à se coordonner [Bouthier 2004]. L'importance de la conscience de groupe au sein des collecticiels a été démontrée au cours de la dernière décennie. Par exemple, Espinosa [Espinosa 00] a trouvé des résultats qui encouragent l'idée selon laquelle la conscience de groupe contribue à la coordination du groupe et à son efficacité. Hormis la coordination globale du processus, les auteurs entendent par coordination, *l'organisation locale* au sein des groupes de collaboration.

Workflow

Un workflow est défini comme une *automatisation d'un processus d'entreprise, dans son entier ou partiellement, durant lequel des documents, informations ou tâches sont passés d'un participant (ressource, machine ou humain) à un autre pour une action en concordance avec un ensemble de règles procédurales* [WFMC-TC 1996].

En général les systèmes Workflow sont perçus comme une application particulière de groupware qui ne s'occupe pas de la communication et de la coopération comme les autres applications, mais de la *coordination* sous-jacente à l'accomplissement des processus de travail [Godart 1999].

Les systèmes workflow sont des outils qui tentent d'automatiser la séquence des actions, des activités ou des tâches que nécessite un processus de travail depuis sa création jusqu'à sa phase terminale. Il permet de gérer l'ensemble du processus en suivant l'état de chacune de ses instances. En identifiant et en reliant les participants aux processus, il rend l'information disponible de façon méthodique, tout en améliorant la qualité et la vitesse du processus. Il permet ainsi de fédérer les ressources et les acteurs de l'entreprise, aujourd'hui de plus en plus dispersés.

Trois fonctionnalités de base sont connues des systèmes workflow [Ronni et al.1994] : *Routages, Règles, et Rôles.*

Une des principales fonctions d'un workflow est l'exécution d'un ordonnancement d'activités, totalement ou partiellement spécifié à l'avance. Plusieurs types de *routages* peuvent être utilisés (séquentiels, parallèles, conditionnels ou en boucle). De manière générale, un workflow est constitué d'une combinaison de ces types de routage et peut ainsi modéliser des comportements complexes.

La gestion des *règles* de coordination des activités est la deuxième fonction principale du workflow. Elle est complémentaire au routage car l'itinéraire d'un processus dépend de *règles* définissant à la fois la nature des informations et leurs modalités de transport d'un acteur à un autre.

Finalement, les *rôles* modélisent l'affectation des ressources aux tâches à effectuer. Exemples de ces rôles : gestionnaire, réadaptateur, etc. L'affectation des rôles à des personnes données, est réalisée lors de l'instanciation du processus.

Dans la trilogie des "3R" (Routage, Règle, Rôle), les règles implémentées dans un workflow permettent finalement d'affecter les tâches et les activités aux différentes personnes concernées au sein de l'organisation et de gérer ainsi la *coordination*.

On distingue trois principaux types de workflow :

- *Workflow* de *production* qui est aussi appelé workflow directif, correspond à un processus métier connu de l'entreprise qui fait l'objet de procédures pré-établies. Le cheminement du workflow de production est donc plus ou moins figé.
- Workflow *ad hoc* qui est basé sur un modèle collaboratif dans lequel les acteurs interviennent dans la décision du cheminement. L'exécution du workflow ad hoc est construite dynamiquement.

- *Workflow collaboratif* qui concerne les processus destinés à organiser les groupes de travail. Les groupes peuvent se composer de petits groupes orientés projet, comme ils peuvent être des groupes très dispersés avec des intérêts communs.

Le workflow concerne un travail dans lequel plusieurs acteurs sont impliqués pour atteindre l'objectif global mais à des étapes différentes du développement. Les procédures sont alors vues comme un enchaînement pré-établi de traitements découplés. Le problème de l'organisation du travail est plus complexe comme il est présenté dans le chapitre 1 (cf. §1.3.2). L'organisation des activités n'est pas définie complètement et a priori. Elle est dynamique. Les systèmes workflow ne semblent pas considérer cet aspect dynamique du processus.

Les systèmes workflow sont orientés structuration du flux parmi les acteurs et les unités d'une organisation [Manheim 04]. Ils contrôlent le flux de travail et de données dans le processus. Ces flux sont prédéfinis et peuvent être instanciés plusieurs fois. Plusieurs travaux dans la littérature prônent l'utilisation des systèmes workflow pour assurer un niveau d'organisation du processus. Cependant, certains auteurs proposent des systèmes workflow plus flexibles [Grigori et al. 04] [Godart et al. 1999] [Geo 1999] en se basant sur des principes tels que l'anticipation et la transaction.

Les outils TCAO offrent une panoplie riche en fonctionnalités permettant la création d'espace de partage (de documents, d'applications, de forums, etc.), d'identifier et de gérer les tâches du projet, d'élaborer des bibliothèques et des portails de partage des connaissances, de co-produire des documents, de communiquer (forum de discussion, échange d'information, etc.). Cependant, nous identifions quelques lacunes à ces outils. Par exemple, ces outils (via les portails projet, les outils de publication collaborative, etc.) ne permettent pas de créer des espaces de travail (espaces de coopération autonomes) qui est une notion plus large que celle d'espace de partage de documents ou d'applications. La gestion dans les espaces personnels

reste orientée plus gestion des documents. Les rôles, les tâches et les informations dans ces espaces ne sont pas complètement pris en charge. En outre, la gestion de la coordination locale entre les acteurs dans ces espaces autonomes se restreint aux fonctionnalités de localisation d'expertise, de mise en relation des individus et de mise en commun de documents. Il n'y a pas de moyens suffisants de régulation de la coopération. Les outils de conscience de groupe sont proposés pour palier à ses manques ; c'est-à-dire rendre tangible le travail du groupe, permettre une compréhension des interactions au moment présent dans les espaces de travail partagés, permettre aux acteurs de situer leurs actions dans le groupe, etc. Cela dit, outre le fait que les outils de conscience de groupe restent, pour le moment, des propositions conceptuelles ou des prototypes de recherche, ils manquent de quelques fonctionnalités clés pour la réussite des coopérations dans les espaces autonomes. Par exemple, à travers les outils de conscience de groupe, il s'agit de permettre la coordination locale et efficace des activités de conception en permettant l'échange d'information sur le processus, sur les acteurs, sur le produit, etc. Mais cette coordination locale n'est pas possible si les acteurs ne partagent pas les informations échangées (ne partagent pas les connaissances et les langages métiers associés) et par conséquent ne peuvent pas arriver à une synchronisation cognitive. Les systèmes de conscience de groupe ne mettent pas en avant le rôle de médiation que joue les informations de conception (objets intermédiaires).

Par ailleurs, si on observe les fonctionnalités offertes par les outils workflow, ces derniers ne permettent pas une planification dynamique des tâches et une diffusion des documents en fonction de leur nature. Autrement dit, l'ordonnancement des tâches est assez détaché de la réalité de l'activité de conception et de l'évolution des informations, à savoir l'évolution de la nature des données (leur incertitude et leur usage) dans le processus.

3.5 Conclusion

A travers l'analyse de ce chapitre, un certain nombre de constats a été mis en avant. Gérer l'activité de conception revient à gérer la *coordination* du processus de conception et à faciliter la *coopération* entre les acteurs. Ensuite, l'activité de conception est sociale et cognitive. Il convient donc de considérer le contexte de la conception et l'acteur dans l'analyse et la gestion de l'activité de conception. De ce fait, le rôle d'objet intermédiaire

semble primordial. Gérer la coordination ou faciliter la coopération revient à gérer la diffusion des objets intermédiaires au sein des équipes de conception.

Les constats cités dans la partie §3.3.4 ci-dessus (tableau 3), nous ont permis de dégager des éléments de caractérisation fondamentaux de la collaboration. Ces éléments nous ont permis de mettre en lumière un certain nombre de fonctionnalités auxquelles les systèmes supports de la collaboration devraient répondre. Ces fonctionnalités nous ont permis d'avoir un œil critique sur les systèmes SGDT et TCAO actuels et leurs contributions aux fonctionnalités principales de coopération et de coordination.

D'une part, les SGDT en tant que systèmes de pilotage des informations, doivent offrir des fonctionnalités permettant la gestion des objets intermédiaires qui est une notion plus large que les données techniques (tableau 4). Cette gestion porte sur le partage, le stockage et le classement des objets intermédiaires. Les SGDT doivent aussi permettre le pilotage de leur diffusion (tableau 4). Le pilotage de la diffusion des objets intermédiaires doit être selon les modalités d'action des acteurs (création, argumentation, validation, etc.) mais aussi en fonction de leur incertitude et leur usage dans le processus de conception.

D'autre part, notre analyse des systèmes TCAO tels que les outils de *conscience de groupe* et les systèmes *workflow*, nous permet d'avancer que ces derniers sont efficaces pour faciliter le partage des ressources, la communication, l'organisation des tâches, le partage des objectifs, le partage d'information, etc. Cependant, ils ne permettent pas (à travers les systèmes workflow) une planification dynamique des activités en fonction de l'incertitude et l'usage des objets intermédiaires dans le processus (tableau 4). Ces systèmes n'offrent également pas aux acteurs la possibilité d'exprimer clairement et de suivre le processus de clarification et d'explicitation des problèmes de conception et de leurs résolutions, c'est-à-dire d'exprimer son point de vue, ses contraintes, ses arguments, etc. Ces éléments ne permettent pas en compte la synchronisation cognitive des acteurs (tableau 4). Des outils de recherche pour la gestion du processus d'argumentation, tels que DRED [Bracewell 04] et JANUS, COMET et IBIS [Regli et al. 00], ont été mis en place, mais ils restent encore des outils d'expérimentation. Les systèmes groupeware, notamment les outils de conscience de groupe, permettent aux acteurs de se coordonner localement (tableau 4).

Aussi, la notion d'espace de travail partagé dans les outils groupeware représente une notion plus restreinte que la notion d'espace de travail coopératif. En effet, les outils TCAO

permettent le partage des documents, d'applications, de forums, etc. mais ne fournissent pas d'espaces de coopération qui permettent l'organisation des interactions en coopération, le pilotage de la diffusion des objets intermédiaires en fonction des modalités d'action, de la synchronisation cognitive des acteurs, etc.

Famille d'outils / Fonctio-nnalités du Trèfle	**Workflow**	**SGDT**	**Groupware: Awareness**	**Groupware: Autres (portail projet, outils communication, etc.)**
Planifier a priori du processus	**++**	**- -**	**- -**	**- -**
Planifier dynamique du processus	**+**	**- -**	**- -**	**- -**
Créer/partager des espaces de travail coopératif	**- -**	**- -**	**+**	**+**
Gérer les objets intermédiaires	**- -**	_	_	_
Piloter la diffusion des objets intermédiaires	**-**	_	**+**	_
Se synchroniser cognitivement :				
- Exprimer ses arguments, son point de vue, ses contraintes, etc.	**- -**	**- -**	**- -**	**-**
- se coordonner localement (synchronisation cognitive)	**-**	**- -**	**+ +**	**+**

+ + l'outil répond complétement à la fonctionnalité.
+ l'outil répond partiellement à la fonctionnalité.
_ l'outils représente plusieurs manques pour répondre à la fonctionnalité.
_ _ l'outil n'est pas conçu pour répondre à la fonctionnalité.

Tableau 4 Fonctionnalités requises pour le support de l'activité de conception collaborative

Par conséquent, nous proposons qu'un système de gestion de la collaboration, outre les fonctionnalités standards, doit fournir les fonctionnalités principales citées dans le tableau ci-dessus. Dans le chapitre 8 de cette thèse, nous présentons un système (PIQUANT) que nous proposons comme maquette illustrant ces fonctionnalités manquantes.

Un concept important qui va jouer un rôle important dans la réalisation des fonctionnalités ci-dessus est le concept de *maturité* des objets intermédiaires. Ce concept correspond au mécanisme de *caractérisation* et de *qualification* des objets intermédiaires dans le processus.

Dans le chapitre suivant, nous étudions les différents points de vue sur les moyens de caractérisation et de qualification d'une information dans différents domaines de recherche : sociologie, ingénierie, économie de la qualité, etc.

Chapitre 4. Maturité

En parlant d'un fruit, on dira que la maturité *est l'état et la qualité du fruit parvenu à son développement complet* [Larousse 06]. En faisant l'analogie avec une information en conception, la maturité d'une information serait l'état ou la *qualité de l'information* parvenue à son développement complet. Nous retenons dans cette définition les mots *qualité et développement complet*. La qualité renvoie au jugement qu'un acteur peut avoir sur l'information. L'état de développement complet renvoie à un état attendu de l'information par l'acteur utilisateur de l'information. De plus, dans un cadre d'échange d'information, deux points de vue sont à considérer : le point de vue de l'émetteur et le point de vue de l'utilisateur de l'information.

Ainsi notre quête d'une définition de la maturité d'une information nous a amené à nous intéresser aux différents travaux sur la qualité (des biens), sur la caractérisation de l'information et sur l'usage de l'information.

4.1. Qualité d'un bien/d'une information

La notion de *bien économique* renvoie à la notion de satisfaction des besoins. *« Parler de bien économique implique un certain degré de stabilisation des caractéristiques qui sont associées à ce bien, caractéristiques qui expliquent pourquoi une demande lui est adressée (...). Le produit quand à lui, est un bien économique envisagé du point de vue de sa fabrication, de sa circulation et de sa consommation (...). Un bien correspond à un état du produit, à un résultat ou plus exactement à un moment dans le processus »* [Callon et al. 00]

Un bien est également défini par les qualités qui lui sont attribuées au cours d'épreuves de qualification. Ces qualités ont donc une double nature *:*

- elles sont *intrinsèques* : le bien est engagé dans l'épreuve de qualification et le résultat dépend évidemment du bien en question,
- elles sont également *extrinsèques* non seulement les qualités sont mise en forme par le dispositif utilisé pour tester et mesurer le bien mais de plus leur formulation et leur explicitation donnent lieu à des *évaluations* et des *jugements* qui varient d'un individu à l'autre.

La notion de qualité est donc étroitement liée à ces deux significations. Cela dit, d'après les travaux de Chamberlin [Chamberlin 1953] sur la qualité des biens : « (…) *dans la fixation de la liste des qualités d'un bien se joue la mise en relation ou plutôt la co-construction d'une offre et d'une demande* ». Cette définition du processus de qualification nous semble capitale. En effet, la qualité d'un bien dépend non seulement du bien en question mais aussi de la contribution, à la fois de celui qui fait l'offre et celui qui demande le bien.

Maintenant faisons l'analogie avec la qualification d'une information portant sur un *produit d'ingénierie* dans le contexte d'un processus de conception. Il en résulte que qualifier une information portant sur un produit d'ingénierie revient à établir *un processus de qualification que son émetteur et son utilisateur co-construisent.*

Nous rejoignons ainsi Callon, dans sa réflexion sur les dispositifs sociocognitifs à mettre en oeuvre pour aider les acteurs (dans notre cas, des acteurs de la conception) à qualifier les informations. L'auteur identifie deux processus relatifs à la qualification :

- la *caractérisation* qui revient à identifier les caractéristiques du bien /information
- le *jugement* qui revient à évaluer de manière *objective* ou *subjective* les caractéristiques du bien.

Notre quête d'une définition de la maturité des informations en conception, s'est donc orientée vers la recherche d'indicateurs d'identification des caractéristiques d'une information mais aussi d'indicateurs de jugement de l'information.

La suite de ce chapitre, représente différents travaux sur la qualification de l'information en conception dans différents domaines de recherche. Certains travaux portent sur la caractérisation de l'information d'autres sur le jugement porté sur l'information.

4.2 Information préliminaire

Dans les travaux de gestion de la coordination des activités de conception, nous avons vu que l'accent est mis sur la construction de stratégies de coordination en se basant sur l'état des *informations préliminaires*. Le concept *d'information préliminaire* a été introduit par Clark et Fujimoto [Clark et al. 1991] afin de permettre l'exécution des activités de façon parallèle dans les processus de développement de produit. Plus tard, Eppinger et al. [Eppinger et al. 1997] définissent le terme d'*information préliminaire* comme un *paramètre* qui est en continuelle

évolution avant d'atteindre sa valeur finale. Les statuts du *paramètre* dans son évolution se réfèrent à sa *maturité* [Hanssen 1997]. L'information préliminaire est caractérisée par un certain nombre de critères. Nous exposons, dans les deux parties suivantes, les principaux critères. Nous essayerons de situer ceux qui participent à la caractérisation et ceux qui participent au jugement.

4.2.1 Evolution en amont et Sensibilité en aval

Dans le chapitre 3 (cf. §3.2), nous avons vu que pour réaliser une coordination concourante de deux activités de conception, Krishnan, Eppinger et Whitney [Krishnan et al 1997] proposent de mettre à disposition les informations fournies par l'activité amont de manière anticipée afin que l'activité en aval puisse commencer son exécution au plus tôt. Afin d'éviter des itérations importantes dans le processus, les auteurs définissent deux critères : l'*évolution* de l'information amont et la *sensibilité* de l'activité en aval.

L'*évolution* d'un paramètre se réfère à son processus de *raffinement* pendant une activité en amont, de sa forme préliminaire à sa forme finale (figure 25). L'évolution est représentée par un intervalle de valeurs ($[a_i, b_i]$) qui change de façon continuelle jusqu'à ce que le paramètre atteigne sa valeur finale. Les auteurs introduisent aussi la notion de *degré d'évolution* de l'information pour mesurer combien un paramètre de conception s'approche de sa valeur finale (comparaison entre l'intervalle en cours et l'intervalle initial). Plus l'intervalle des valeurs ($[a_i, b_i]$) est petit plus la valeur du paramètre est proche de la valeur finale[53].

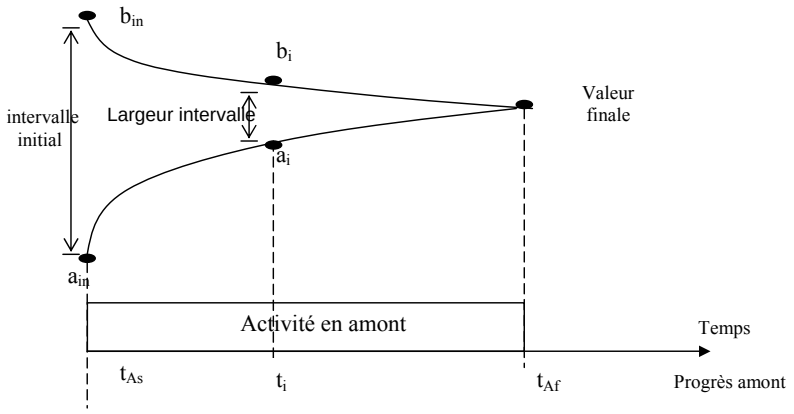


Figure 25 Représentation qualitative de l'évolution de la valeur d'une information produite par l'activité amont [Krishnan et al. 1997]

[53] Le degré d'évolution, dans le travail de Krishnan et Eppinger est supposée monotone. D'autres travaux sur le degré d'évolution d écrivent le degré de l'évolution selon une fonction non monotone [Krishnan 1993].

Les auteurs dans [Krishnan et al. 1997] différencient une *évolution rapide* d'une *évolution lente*. Une évolution *rapide* correspond à une situation où la majorité du changement se passe tôt dans le processus. Dans ce cas, l'information fournie par l'activité amont devient rapidement proche de sa forme finale. Et la valeur de l'information peut être gelée sans que cela ne porte préjudice à la qualité de l'activité en aval. Une évolution lente d'une information correspond à :

- une information qui est à l'interface de plusieurs autres informations soumises à des changements,
- une information fournie par un facteur exogène disponible tardivement dans le processus,
- une information dont la valeur implique la résolution d'un problème technique complexe.

Cette variation en amont peut être accompagnée d'un impact dans les activités en aval. Krishnan [Krishnan et al 1997] définit *la sensibilité en aval* comme étant la relation entre la durée de l'itération dans l'activité en avale due à un changement sur une information fournie par l'activité en amont. Ces auteurs parlent de *fonction de sensibilité* (figure 26).

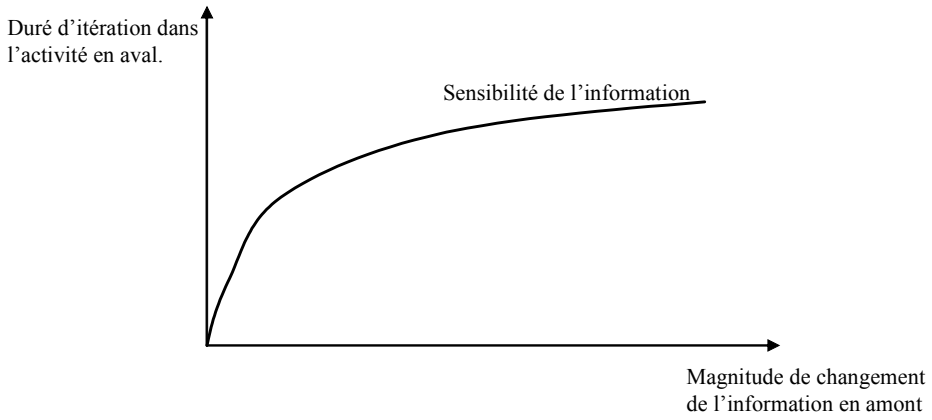


Figure 26 Représentation qualitative de la sensibilité [Krishnan et al. 1997]

Cette définition de la sensibilité est assez proche de celle présentée dans [Yassine et al. 1999] où la *sensibilité* représente *le degré avec lequel le travail en aval change pour absorber le changement incident sur les informations fournies par l'activité en amont.*

Les auteurs différencient une *sensibilité faible* d'une *sensibilité élevée*. La première correspond à une situation où de grandes magnitudes de changement en amont impliquent de faibles itérations en aval. Inversement, la sensibilité est élevée quand de petits changements ou magnitudes en amont requièrent des itérations de conception importantes en aval.

Des définitions de l'évolution et de la sensibilité de l'information, nous retrouvons les deux points de vue : émetteur (évolution) et utilisateur (sensibilité).

4.2.2 Stabilité et Précision

Dans le même ordre d'idées que Krishnan, Terwiesch [Terwiesch 2002] propose les critères de *stabilité* et de *précision* afin d'identifier les risques liés aux itérations/blocage en conception et de permettre l'application de stratégies de coordination des activités adéquates. L'auteur définit la stabilité comme la vraisemblance qu'une donnée (ou information) change (ou ne change pas) plus tard dans le processus (similaire à la notion d'évolution). La précision est définie comme étant l'exactitude de l'information échangée entre deux activités. L'auteur avance le fait que pour un certain degré de connaissance sur la situation de la conception, la précision et la stabilité d'une information sont en *conflit*.

Pour illustrer cela, Terwiesch cite un exemple concret de la vie courante d'un voyageur qui en arrivant à la ville de destination aimerait réserver un taxi de l'aéroport à son hôtel. La veille du voyage, l'heure d'arrivée est évidemment incertaine (imprécise). Ainsi toute information envoyée au chauffeur de taxi est de nature préliminaire. Par ailleurs, le voyageur peut ignorer cette incertitude et communiquer une heure d'arrivée précise (exemple 14h34) mais vraisemblablement instable. Cependant, le voyageur peut rendre son information stable et communiquer une heure d'arrivée qui serait entre 12h00 et 18h00. Le jour même du voyage (à une heure du décollage par exemple), l'incertitude sur l'heure d'arrivée est moindre et l'information est ainsi révisée de manière répétitive jusqu'à ce qu'elle devienne stable et précise (quand le voyageur sort de l'aéroport de destination).

Au début, peu de connaissances sur la situation de la conception sont certaines, l'information peut être ni stable, ni précise (figure 27). Quand les acteurs avancent dans la résolution du problème et que le niveau de connaissance augmente, l'information est communiquée de manière répétitive (coordination répétitive) en changeant sa précision et sa stabilité. A la fin du processus de résolution du problème, l'information est stable et précise (figure 27). Cela dit, l'acteur peut être amené à préférer une information précise et non stable ou vice versa. Dans un cas ou dans l'autre, il y a toujours un risque à prendre. Dans le cas où l'acteur préfère la précision à la stabilité (coordination itérative), le risque encouru serait de remettre en cause l'information plusieurs fois (risque d'itération) (figure 27). Par contre, dans le cas où l'acteur

préfère la stabilité à la précision (la coordination continue), le risque serait que l'acteur soit face à une situation de manque d'information et donc de blocage en conception (figure 27).

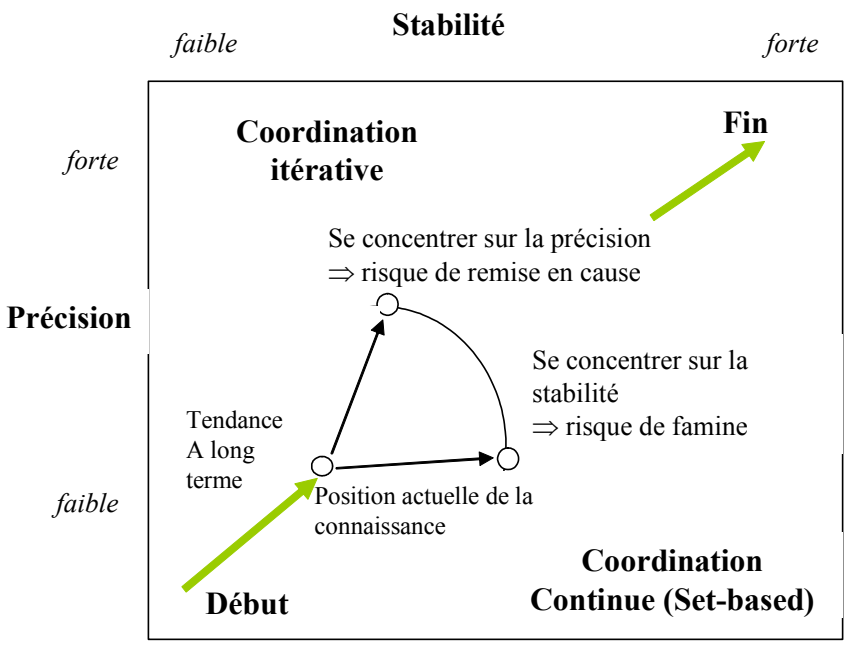


Figure 27 Stabilité et précision d'une information et stratégies de coordination [Terwiesch 02]

4.3 Incertitude

L'un des travaux les plus cités sur l'incertitude en conception est l'analyse que Antonsson et Otto proposent dans [Antonsson et al 1995] sur la définition de l'incertitude et de l'imprécision.

Les auteurs définissent les deux notions dans le cadre de processus de conception amont. Ils parcourent toutes les théories de représentation de l'incertitude de la théorie des ensembles flous [Zadeh 1978], à la théorie de l'utilité [Thurston et al. 1992] en passant par la théorie de la nécessité, etc. Bien que ces différentes théories soient très utiles pour les travaux de quantification de l'incertitude, notre intérêt porte sur les définitions de l'incertitude données par ces théories. Nous relevons deux définitions qui nous semblent pertinentes.

« L'incertitude est une variation stochastique incontrôlée des valeurs d'une variable, l'imprécision en conception est décrite par des valeurs de la variable devant être choisies par une optimisation »[54]

« En conception préliminaire, une variable imprécise est une variable qui devrait potentiellement avoir une valeur quelconque parmi un choix de valeurs possibles, car le concepteur ignore, a priori, la valeur finale de la variable qui émergera du processus de conception »[55] [Antonsson et al 1995]

Les deux définitions portent sur la caractérisation d'une information de conception qui représente pour les auteurs, une variable de conception. La première définition montre la différence entre l'incertitude au sens incontrôlé et stochastique de la valeur de la variable de conception et l'imprécision comme étant un choix de valeurs de la variable de conception parmi des valeurs possibles. Ce choix se doit d'être optimal. Les auteurs citent un exemple d'incertitude de la variable de fabrication « type de matériau » choisie pour la fabrication dont les valeurs possibles sont inconnues. Par contre l'imprécision porte sur le choix de la valeur de la tolérance parmi un intervalle de valeurs connues.

Toujours dans le contexte des processus de conception amont, Eversheim [Eversheim et al 1997] définit l'incertitude comme étant relatif à deux dimensions : l'*incertitude du contenu* et l'incertitude du *contexte de l'information*. La première dimension représente la nature du changement de l'information et la deuxième dimension représente *la validité, la fiabilité* et la *variabilité* de l'information. La validité et la fiabilité relèvent plus de l'usage de l'information par l'acteur qui l'utilise. Cependant, la variabilité (qui est plus proche de la notion de variation ci-dessus) représente l'attribut d'incertitude. La variabilité, dans les travaux de Eversheim est la résultante de l'analyse des questions suivantes :

- quelle est la fréquence de changement ?
- quand est ce que le changement arrive ?
- de combien est le changement ?
- quelles sont les raisons possibles du changement ?

---

[54] *Uncertainty is an uncontrolled stochastic variation in variable values, design imprecision is described by variable values to be chosen by optimization.*

[55] *An imprecision variable in preliminary design is a variable that may potentially assume any value within a possible range because a designer does not know, a priori the final value that will emerge from the design process*

Ces critères d'incertitude proposés par Eversheim ont pour rôle de faciliter les différentes interprétations des informations échangées et donc la collaboration entre les acteurs de la conception.

Crossland [Crossland 2003] propose une classification des types d'incertitude présentent en conception amont en fonction du *sujet* et de la *nature* de l'incertitude. L'auteur classifie le sujet de l'incertitude selon la catégorie d'information concernée par l'incertitude : *objectifs de conception*, *contraintes*, *environnement de conception, modèle explicite* et *modèle auxiliaire* [McMahon et al. 1995]. En outre, Crossland classifie la nature de l'incertitude en : *vague, incertitude numérique, incertitude catégorique, incomplétude, abstraction et inconsistance*. Nous résumons les différentes catégories de la nature de l'incertitude ci-dessus comme suit :

- L'i*mprécision numérique* représente un ensemble ou un intervalle de valeurs numériques possibles. Par exemple : le poids de la machine est entre 120 kg et 180 kg.

- *L'imprécision catégorique* représente un choix entre plusieurs catégories possibles. Par exemple : le système de guidage se trouve au dessus ou en dessous du groupe-turbine.

- Le d*egré de détail* représente l'énumération complète de tous les éléments d'un ensemble. Par exemple : un document est détaillé si tous les éléments prévus pour le constituer sont énumérés. Dans nos travaux nous différencions le degré de détail de la complétude d'une information (cf. §4.11).

- *L'abstraction* d'une information relève du fait que l'information contienne des variantes dans sa composition. Exemple : une centrale hydraulique représente une information abstraite puisque son type, sa puissance, son rendement, etc. présentent plusieurs variantes. Le degré d'abstraction représente le niveau de variantes considérées.

-*L'information vague* renvoie à une information confuse ou floue. Dans la théorie des ensembles flous, une information flou correspond à une information exprimée avec une variable floue, exemple : la distance entre un groupe de transformateur et le groupe turbine est « *moyenne* ». Une connaissance du contexte est nécessaire dans ce cas.

- *Inconsistance*: représente le degré d'adéquation de l'information par rapport à d'autres informations. Par exemple : le poids estimé de la machine est inconsistant avec sa puissance. Ce critère donne une idée sur le niveau de validation de l'information.

L'un des objectifs des études de Crossland dans [Crossland 03] est d'obtenir des estimations des coûts et des paramètres de performance, du temps, etc. afin de mieux gérer les risques en conception amont. Cette représentation de l'incertitude aide aussi les concepteurs dans leurs choix des alternatives de conception dans les modèles CAO. Cette caractérisation porte sur les caractéristiques (*features)* du modèle CAO.

4.4 Fiabilité/Confiance de l'émetteur de l'information

Dans les travaux concernant la simulation en conception [Goh et al 05] [Zimmermann 00], l'intérêt porte sur l'évaluation et la vérification de la performance du produit à travers des représentations virtuelles de ce dernier. Les modèles de simulation sont souvent à l'origine d'erreurs en conception. En effet, un manque de connaissances sur comment construire les modèles, des approximations de modélisation, des incomplétudes et des incertitudes des données d'entrée, etc. sont des facteurs qui engendrent l'incertitude sur les résultats de simulation. Ce qui diminue la fiabilité des informations et la confiance sur ces derniers.

Un modèle de simulation en conception est représenté dans [Goh et al. 05] par des paramètres de conception[56], des paramètres de performances[57] et des fonctions de transfert[58].
Afin d'estimer la fiabilité des paramètres de performance et du modèle de simulation en conception mécanique, Goh propose de caractériser la corrélation entre les résultats du modèle de simulation et les observations expérimentales à l'aide de trois axes : le *paramètre de performance, l'évidence physique et l'espace de conception* (figure 28).

Le premier axe (paramètres de performance) représente la classification des paramètres de conception selon la complétude des données utilisées pour les décrire. Trois classes sont représentées : une valeur *déterministe*[59], un *intervalle de valeur*, ou une *distribution de probabilité* (figure 28).

---

[56] Les paramètres de conception sont les variables physiques clés qui caractérisent la conception : les dimensions du produit, les propriétés matérielles, etc.
[57] Les paramètres de performance sont obtenus à partir des paramètres de conception relevant du régime opératoire du produit : les forces, la résistance thermique, etc.
[58] Une fonction de transfert représente les liens entre les paramètres de conception et les paramètres de performance.
[59] Le paramètre de performance résultant de la fonction de transfert est une seule valeur ou un ensemble de valeurs.

Le deuxième axe (l'évidence physique) correspond à la validation de la corrélation entre les résultats de la simulation et les observations issues d'expériences similaires[60]. La validation des corrélations peut manquer d'évidence. Une échelle de classification de l'évidence est représentée en fonction du nombre d'observations disponibles pour la validation : *observation singulière*[61], *un ensemble d'observations* ou un *ensemble statistique d'observations*[62] (figure 28).

Le troisième axe (l'espace de conception), représente l'espace de faisabilité ou de paramétrage des paramètres de conception. Cela correspond aux différentes variantes de conception. Trois classifications de la taille de l'espace de conception sont proposées : *un seul nombre*[63], un *petit nombre* et *un grand nombre* (figure 28).

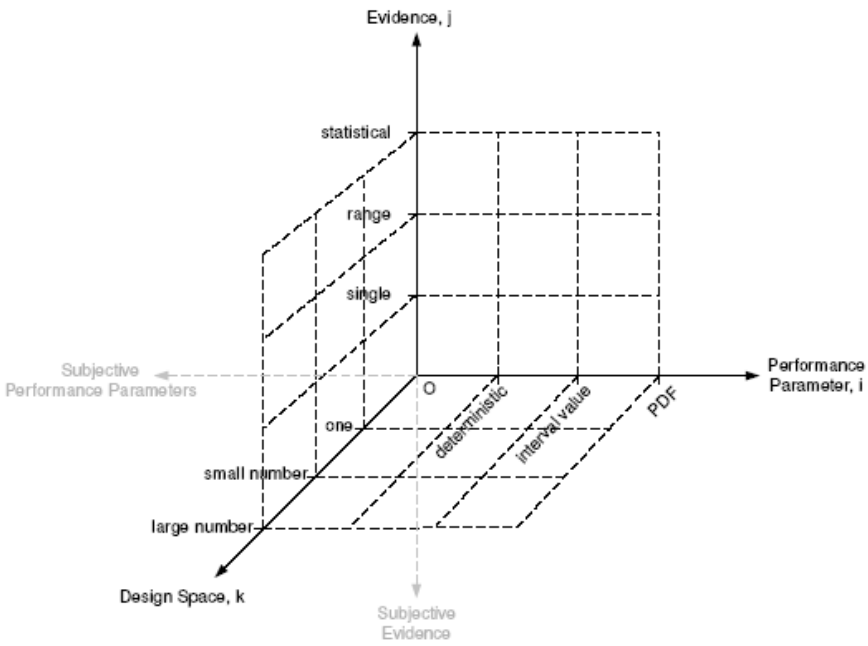


Figure 28 Axes de caractérisation de l'incertitude dans un modèle de simulation selon Goh [Goh et al. 05]

Suivant cette approche plus les paramètres de performance et l'évidence physique sont élevées (le nombre d'observations sur lequel repose l'évidence est élevé) et l'espace de conception est large (le nombre de variantes considérées en conception est important), plus

[60] Les corrélations sont soit faites par une comparaison directe entre les résultats de simulation et des résultats expérimentaux, soit par une comparaison avec des produits similaires et pas forcément identiques, et qui représentent des conditions de service similaires.
[61] La validation de l'évidence repose sur une seule observation, par exemple à partir d'un test sur prototype.
[62] Les observations sont collectées d'un nombre important d'artefacts en service fournissant une source de validation fiable.
[63] Cela veut dire que la corrélation des paramètres de performance et l'évidence est valable pour un seul paramétrage du produit.

l'acteur a de connaissance sur son modèle de simulation, plus il a confiance en la validité des résultats.

L'intérêt central de ces travaux est la possibilité d'acquisition de connaissances sur l'incertitude des paramètres au fur et à mesure des expériences de simulation. Cela aide à avoir des retours d'expériences sur les erreurs induites par l'activité de simulation. Cet apprentissage permet d'intégrer ces erreurs dans les futures activités de simulation où il s'agit d'exprimer l'évidence en fonction des erreurs passées.

4.5 Ambiguïté

Stacey et Eckert [Stacey et al.03] décrivent l'*ambiguïté* des informations échangées entre acteurs de la conception comme la *disponibilité de plusieurs interprétations qualitatives distinctes d'une même information.* Ces auteurs déclinent l'ambiguïté en différents concepts : la *précision*, la *similitude*, la *sensibilité* et la *confiance*.

Minneman [Minneman 1991] avance que des concepteurs doivent parfois tirer profit de l'ambiguës des informations dans les situations de communication. En effet, l'ambiguïté facilite la créativité en permettant la réinterprétation. Schön [Schön 1983] voit l'ambiguïté comme un moyen d'interaction à travers les esquisses en conception. Lors d'une conversation, les concepteurs voient en ces esquisses plus que ce qu'ils y ont mis au moment où ils les ont dessinées. De telles incitations poussent plus loin la réflexion en conception.

Cependant, les effets de l'ambiguïté sur la communication sont rarement aussi positifs en conception. L'ambiguïté peut être *nuisible* [Stacey et al.03]. Cela dépend de l'objet de la communication et de l'étape du processus de conception pendant lequel l'échange ambiguë prend place. En effet, une conception conjointe (coopération) est très différente d'une simple situation d'échange. Echanger des représentations ambiguës, dans ce cas, peut créer des problèmes d'incertitude en conception.

Par ailleurs, Schrader et Riggs [Schrader et al. 1993] pointent la différence entre l'incertitude et l'ambiguïté dans la résolution des problèmes de conception. Ils définissent une situation incertaine comme une situation où la structure du problème est bien connue. Les variables sont connues mais les valeurs sont à déterminer. Cependant, une situation ambiguë correspond à une situation où les variables elles mêmes sont inconnues. Nous faisons dans notre travail la

même distinction entre les deux concepts (incertitude et ambiguïté). Il est clair que l'ambiguïté est importante pour juger de la qualité de l'information mais nous pensons que l'ambiguïté renvoie plus à la structure de l'information (cf. §4.6).

4.6 Structure de l'information

Deux flux d'information existent simultanément, dans le processus de conception :

- les informations officielles qui sont contrôlées dans les SGDT[64]. Ces données du produit représentent essentiellement celles résultante des décisions des acteurs de l'équipe de conception.

- les informations échangées entre les acteurs de la conception et qui permettent les prises de décisions citées auparavant.

Ces communications, essentielles pour l'activité de conception, ne sont généralement pas prises en compte par les SGDT. Gardoni [Gardoni et al. 2005] propose de caractériser ces types de flux d'information en considérant l'information échangée comme un objet théorique constitué de composants linguistiques et de composants rhétoriques.

- *Les composants linguistiques* construisent la signification de l'information à partir d'instructions. Ils se caractérisent par la clarté de leur formalisme plus ou moins structurant qui laisse la possibilité d'avoir ou pas différentes interprétations possibles. Par exemple, un dessin technique composé de droites, hachures, de vues, etc., décrit formellement la forme géométrique d'une pièce et laisse peu d'interprétations possibles. Contrairement au discours qui peut être interprété de plusieurs façons en fonction des récepteurs.

- *Les composants rhétoriques* apportent un sens à l'information par ajout d'information contextuelle. Cette construction se caractérise par la facilité de restituer l'information dans son contexte. Par exemple, un plan constitué d'un dessin technique associé à un cartouche (lequel fait office de contexte) doit, en théorie, se suffire à lui-même, il ne nécessite pas d'autres informations pour sa compréhension.

Ainsi selon ses composants, l'information est classée en trois catégories : Information Structurée (IS), Information Semi Structurée (ISS), et Information Non Structurée (INS).

[64] Systèmes de Gestion des Données Techniques.

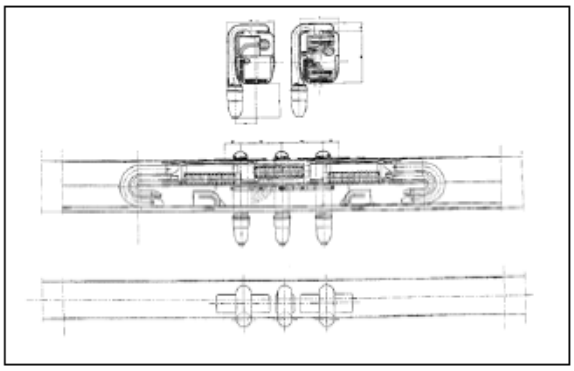
- *Information Structurée (IS) :* Les composants rhétoriques et linguistiques sont généralement imposés, par exemple à un plan 2D est associé le nom du concepteur, le produit, le composant, la date, etc. la classification des modèles CAO, etc. La règle de construction du modèle CAO est formalisée dans l'entreprise.

- *Information Semi Structurée (ISS) :* Les composants linguistiques des informations sont peu formalisés. Ils peuvent prendre une forme textuelle, graphique, etc. les composants rhétoriques pourraient être parcimonieux utilisant juste des parties des règles de l'entreprise.

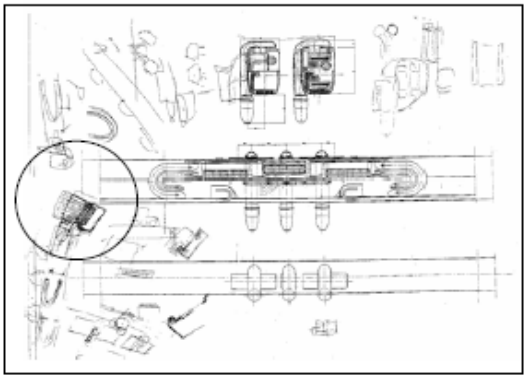
• *Information Non Structurée (INS) :* Ces informations sont peu formalisées. Il peut y avoir peu de composants rhétoriques s'ils assurent un degré de pertinence suffisant pour la compréhension de l'information par son receveur.

Plusieurs travaux présentent le rôle essentiel des esquisses (sketches) dans les activités de conception [Blanco 2003; Henderson 1999; Purcell et Gero 1998]. Ces informations sont caractérisées de IGNS (Information Graphique Non Structurée) [Blanco et al. 2001]. Les INS et les INSG permettent à l'ambiguïté d'opérer car différentes et même de fausses interprétations sont possibles. Cela est dû au manque de composants rhétoriques.

L'objet dans la figure 29 illustre le fait que la structure des informations de conception peut évoluer quand elles sont produites et utilisées par les concepteurs. Le dessin initial (figure 29a) est une information ISS (représente une impression d'un modèle CAO). Ce dessin utilise des conventions des plans techniques mais tous les éléments de contexte ne sont pas définis dessus (le produit, l'entreprise, nom du concepteur, date, etc.). La structure de l'objet est différente après la réunion. Touts les esquisses produites par les acteurs sont des IGNS (figure 29b).



29a Avant la réunion



29.b. Après la réunion

Figure 29 Evolution de la structure des informations manipulées par les concepteurs [Blanco et al. 01]

Dans la plupart des activités de conception, les acteurs utilisent des flux INS/IGNS afin de résoudre les problèmes. Ces communications sont aujourd'hui effectuées par messagerie électronique, par téléphone, par vidéoconférence ou en face à face dans des réunions. Malheureusement, ces informations échappent au contrôle. Elles sont distribuées dans les différentes boites de messagerie des acteurs, etc. Il est aussi difficile pour les acteurs de distinguer dans le flux des informations celles qui sont non structurées de celles qui sont des résultats de décisions. Ce point concerne particulièrement les informations IS et les ISS qui sont appelées à évoluer pendant le processus de conception. La structuration de l'information est aussi un élément contributeur à son incertitude.

4.7 Pérennité de l'information

Gaudin [Gaudin 01] caractérise les informations de conception dans un bureau d'étude, selon leurs niveaux de pérennité. Ces informations participent à l'émergence des solutions et résultent souvent d'un travail collectif entre différents acteurs confrontant leurs points de vue et leurs expériences. Elles sont éphémères parce qu'elles sont transitoires. Un exemple de ce type d'information est les brouillons créés lors d'une collaboration des concepteurs autour de la fixation d'une pièce (figure 30). Ces multiples informations ont permis de poser des hypothèses, de réfléchir sur des nouvelles orientations de la conception, de prendre en compte de nouvelles contraintes, etc. Ces informations sont temporaires car elles sont au cœur de la dynamique de conception et au cœur de la réflexion sur les orientations envisagées et retenues.

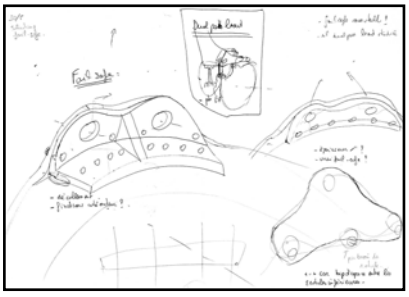


Figure 30 Exemple d'informations non pérenne [Gaudin 01]

Contrairement aux informations transitoires, il y a les informations pérennes sur un long terme qui sont en revanche synonymes d'apprentissage du métier de concepteur. Elles sont d'ordre statique issues des manuels de conception (formules, méthodes, etc.). Un exemple de ce type d'information est la fiche descriptive des caractéristiques des matériaux.

Cela dit, l'auteur représente la pérennité sur une échelle graduée de un à cinq en faisant référence à des degrés de validité de l'information.

Niveau 1: Information non pérenne.

Niveau 2: Information valable environ une semaine jusqu'aux prochaines modifications.

Niveau 3: Information valable le temps de l'étude, soit environ six mois.

Niveau 4: Information valable sur plusieurs programmes.

Niveau 5 : Information valable pour les technologies utilisées actuellement.

A l'issue de cette caractérisation, trois classes d'information sont ainsi proposées. Nous les représentons dans le tableau ci-dessous. Pour chaque classe d'information, Gaudin présente ces caractéristiques d'un point de vue pérennité et expose les problématiques associées.

La question de pérennité d'une information est intéressante puisqu'elle révèle l'intérêt de la structurer, de la caractériser et de la gérer. En effet, l'aspect pérennité/obsolescence de l'information peut être une difficulté rencontrée lors de sa caractérisation. La question de savoir quel est le niveau de pérennité suffisant pour que l'information soit qualifiée, reste une question ouverte et difficile à traiter.

Classe d'information	Caractéristiques	*Problématique associée*
Classe des informations statiques	Informations structurées (IS) et à haut niveau de pérennité (de niveau de pérennité : 4 ou 5).	*Problématique d'accessibilité*
Classe des informations dynamiques	Informations partagées à niveau de pérennité moyen (de niveau de pérennité : 2, 3).	- Quelle motivation à fournir des informations pour autrui ? - Quelles stratégie de diffusion des informations non encore validées / figées ? - Quel peut être le périmètre de diffusion ? Est-il fixe ou variable ?
Classe des informations non pérennes	fruit d'une confrontation/réflexion collective et permettent l'émergence des solutions (Information non structurée (INS) et de niveau de pérennité 1).	Peut-on capitaliser les conclusions de ces discussions, sachant qu'un effort important de structuration des informations est à réaliser ?

Tableau 5 Classes d'information selon le degré de pérennité.

Les travaux présentés dans les parties ci-dessus, représentent pour la plupart des propositions de *caractérisation de l'information* suivant le point de vue de l'acteur *émetteur* de l'information et ne considérant pas l'aspect jugement que peut porter l'acteur utilisateur sur la qualité de l'information.

Nous verrons dans les parties suivantes que dans différents domaines de recherche, tels que la sociologie, l'économie de qualité et la linguistique, la qualité de l'information est souvent jugée dans l'usage que les acteurs font de cette dernière. Ces travaux rejoignent la définition de Callon [Callon & al. 00] sur le fait que la qualité se construit dans l'échange entre les acteurs. Plusieurs critères de qualification de l'information sont proposés dans la littérature, on cite dans ce qui suit ceux qui nous semblent incontournables.

4.8 Confiance

Le concept de confiance est défini comme « *la volonté d'une partie d'être vulnérable aux actions d'une autre qu'elle est dans l'incapacité de contrôler* » [Mayer et al. 1995]. Bornarel [Bornarel 05] oppose les deux concepts de confiance et de contrôle. *« Lorsque le contrôle est très coûteux alors la situation est favorable aux refus du contrôle, et à son substitut la confiance »*. Cependant, si la confiance (comme substitut) autorise une baisse de coût de contrôle, elle a également pour effet d'augmenter les risques d'opportunisme.

Par ailleurs, en sociologie, Karpik [Karpik 1996] avance que *« faire confiance c'est s'en remettre à une entité extérieure- personne, règle, dispositif technique ou une intention- dont on ne maîtrise pas les principes d'action »*. L'auteur positionne la confiance dans un contexte d'incertitude des marchés économiques. Cette dernière est décrite en terme de dangers qui règnent autour des échanges économiques qui sont l'*opacité* et l'*opportunisme*[65]. Karpik évoque deux dispositifs relatifs à la confiance mis en œuvre pour palier à ces deux difficultés : les *dispositifs de jugement et les dispositifs de promesse.*

Les dispositifs de jugement permettent de réduire l'ignorance (le manque de connaissances sur les principes d'action de l'autre). Ils sont fondés soit sur la *confiance personnelle* soit sur la *confiance impersonnelle.*

[65] Ces deux phénomènes résultent de l'effet de l'incertitude qui peut exister dans un échange. L'opacité est définie comme le manque d'information sur la qualité d'un bien/service et l'impossibilité, avant l'échange, de connaître les singularités des biens/services [Karpik 1996].

La *confiance personnelle* ou le dispositif de *jugement personnel* représente la construction collective des informations utiles dans des réseaux personnels (collègues de travail, amis, « connaissance » ou « relation », etc.). Cette construction « *permet de surmonter, au moins partiellement, l'incertitude enracinée dans l'ignorance des qualités (...) en capitalisant l'expérience des autres »* [Karpik 1996].

La *confiance impersonnelle* ou le *dispositif de jugement impersonnel*, portent sur différents indicateurs (classements), appellations et guides. Les classements rendent plus ou moins fidèlement visibles leurs singularités par le moyen de hiérarchies publiques. Les appellations contrôlées comme les labels et des conventions de qualité en général, visent à garantir, publiquement, la singularité d'un bien ou service par une obligation de moyens de production certifiée par une autorité de contrôle. Le guide désigne, d'une part, la personne individuelle ou collective qui peut être experte ou pas et d'autre part, l'objet qui rassemble les jugements et qui, dans sa matérialité, est aisément reproductible, mobilisable et transportable.

Les dispositifs de *promesses* relèvent du fait que faire confiance c'est « *tenir pour vrai que la personne ou dispositif en qui on fait confiance, par suite des qualités particulières qu'on lui prête, va témoigner de sa fidélité à la promesse (...) et se conforme à l'attente de comportement qu'on a formé pour lui »* [Pouillon 1979]. Les dispositifs de promesse permettent d'éviter le risque d'opportunisme dans les relations. Ils reposent sur la qualité des personnes et les ensembles normatifs tels que les normes.

Ainsi les dispositifs de confiance, qui sont qualifiés d'univers *personnel* et *impersonnel*, servent de points d'appui à la coordination de l'action où seule la convergence des intérêts n'est pas suffisante pour mener à bien les échanges qui sont menacés par l'opacité et l'opportunisme.

Encore une fois, en faisant le parallèle avec la confiance que peut susciter une information de conception chez un acteur, où face à l'incertitude, l'acteur fait appel aux deux dispositifs de *jugement et de promesse*.

Lécaille [Lécaille 03] exprime, implicitement, le besoin des acteurs d'espaces de *jugement personnel* à travers les *espaces de conception. U*n *espace de conception* est défini comme *le moment où émerge la nécessité d'avoir à conserver l'objet pour soi-même ou non, d'avoir à se persuader soi-même ou à persuader d'autres acteurs de ce qui est représenté, d'avoir à se coordonner ou bien d'avoir à solliciter l'approbation d'autrui.*

Dans cette définition, on retrouve la nécessité de recourir à un réseau de confiance personnel pour construire son argument concernant la solution de conception (représentée dans un objet). A travers les mots « *solliciter l'approbation* », un acteur fait appel au dispositif de promesse afin de vérifier son argument auprès d'un autre acteur ayant une expertise et une expérience et auquel on s'attend qu'il soit fidèle à sa *promesse* (une personne digne de confiance).

4.9 Pertinence

Une notion clé dans la théorie de la pertinence [Sperber & Wilson, 1986] est celle *d'usage interprétatif* d'une proposition. Il est stipulé que tout énoncé peut créer deux types de représentation mentale : une représentation d'un état de choses dont la forme propositionnelle est vraie pour cet état des choses (représentation descriptive) et une représentation dotée également d'une forme propositionnelle qui est apparentée à la proposition initiale simplement parce qu'elle lui ressemble (représentation interprétative). Dans tout acte de communication, le locuteur (émetteur de l'information) fournit à l'auditeur (utilisateur de l'information) une expression interprétative de sa pensée et l'auditeur sur cette base construit une *hypothèse interprétative*. L'évaluation du degré de ressemblance est établie à partir des similarités logiques qui existent entre les formes propositionnelles produites[66]. Ces ressemblances logiques sont perçues si elles respectent un *principe de pertinence*.

Considérant l'expression produite lors de la répétition d'un groupe de Jazz :

P1 « le saxophone a la grippe »

Selon la théorie de la pertinence, l'interprétation de cet énoncé figuratif suppose qu'à partir des mots identifiés, l'auditeur (receveur du message) s'engage dans un processus inférentiel de formation d'hypothèses et d'évaluation qui est guidé par un principe de *pertinence*.
La pertinence est définie en termes d'effets cognitifs produit moyennant une quantité d'effort pour un contexte donné. Etablir la pertinence d'un énoncé consiste à sélectionner un contexte et à créer à partir de celui-ci un ensemble d'hypothèses permettant d'interpréter l'énoncé pour un minimum d'effort. La recherche de l'hypothèse la plus pertinente s'effectuera au besoin en élargissant le contexte ce qui par contre coup augmentera l'effort.

[66] Sperber & Wilson précisent que deux formes propositionnelles entretiennent un rapport de ressemblance si et seulement si elles ont des propriétés logiques communes.

L'interprétation pertinente de P1 sera ainsi la première hypothèse qui est cohérente avec le principe de pertinence, c'est à dire celle qui produit les effets attendus pour un minimum d'effort cognitif. Considérons que l'hypothèse par défaut produite à partir de P1 est :

P2. « Le saxophone a la grippe < au temps t> »

L'auditeur rejettera P2 car, en règle générale, il ne pensera pas que c'est la proposition la plus pertinente qu'a voulu exprimer le locuteur. Tentant, à nouveau, de trouver l'interprétation la plus pertinente, l'auditeur supposera que l'expression P2 est utilisée de manière interprétative ce qui permettra l'élaboration de la proposition P3 :

P3 *« L'individu que l'on peut nommer 'le saxophone' a la grippe < au temps t> »*

La proposition P3 est plus pertinente que la proposition P2 pour le locuteur. L'auditeur reconnaissant la nature interprétative de P1, est capable d'élaborer une autre forme propositionnelle qui soit plus pertinente avec la pensée du locuteur. On peut supposer d'ailleurs que le processus inférentiel ne s'arrête pas là et que l'auteur ayant respecté la pertinence optimale dans son énoncé, ait souhaité que l'interlocuteur identifie un référent spécifique dans le contexte donné. L'auditeur pourrait ainsi générer l'interprétation P4 :

P4 « *John Smith a la grippe < au temps t>*

En résumé, l'interprétation de l'énoncé figuratif, dans les termes de Sperber et Wilson, relève d'un processus inférentiel qui produit des hypothèses et évalue leur pertinence jusqu'à l'identification correcte du référent. Ce processus inférentiel est fortement dépendant du contexte de l'énoncé car c'est à partir de celui-ci que seront produites les hypothèses pertinentes. Selon le degré d'accessibilité au contexte et à la pertinence de l'énoncé, l'effort requis serait variable. Un contexte difficilement accessible et une pertinence moindre devraient logiquement entraîner des temps de traitement plus importants.

Ainsi, Sperber et Wilson avancent donc qu'une *hypothèse est pertinente si et seulement si elle a un effet contextuel dans ce contexte ».* Les auteurs parlent de degré de pertinence qui est en liens avec *l'Effet et l'Effort :*

- Une hypothèse est d'autant plus pertinente dans un contexte donné que ses effets contextuels y sont plus importants.

-Une hypothèse est d'autant plus pertinente dans un contexte donné que l'effort nécessaire pour l'y traiter est moindre.

Si on revient maintenant à la définition de la pertinence de l'utilisation dans le cas de la conception. Nous pouvons dire *qu'une information de conception est pertinente pour son utilisateur si et seulement si elle a un effet contextuel dans le contexte* et plus ses effets contextuels sont importants et les efforts nécessaires pour la traiter sont moindres, plus l'information est pertinente. Là aussi l'utilisateur de l'information s'engage dans un processus inférentiel de formation d'hypothèses et d'évaluation qui est guidé par un principe de *pertinence*.

4.10 Maturité et niveau d'usage

D'après les études au EADS-CCR[67] effectuées par Saint-Marc [Saint-Marc et al. 04], l'évaluation des informations est définie par la *mesure du niveau d'usage* d'une information selon le point de vue fournisseur et le point de vue utilisateur de l'information.
Pour évaluer ce niveau d'usage, les auteurs définissent le concept de *maturité*. Cette mesure se base sur la valeur de la *maturité relative* (MR). C'est le ratio entre la *maturité absolue* (Ma) et la *maturité objective* (Mo) (équation 1).

$$Mr = \frac{Ma}{Mo}$$

Équation 1 Maturité relative

La maturité absolue (Ma) représente le niveau de maturité en cours évalué par le fournisseur et les utilisateurs de l'information. Au début de la conception, la maturité absolue est nulle, ensuite cette maturité augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne le niveau de *maturité objective.*
La maturité objective (Mo) caractérise le niveau de maturité devant être atteint à un jalon donné du processus et représente le *niveau d'utilisation* que les concepteurs requièrent pour la suite du processus. *Mo* est défini au début de la collaboration.
La maturité relative (Mr) est un indicateur de maturité global. Cet indicateur mesure l'écart entre Mo et Ma.

[67] EADS-CCR : EADS-Corporate Reasearch Center.

Pour chaque échange, le fournisseur et les utilisateurs fournissent leurs propres évaluations des différentes maturités (“Ma” évaluée et “Mr” calculée) :

- le fournisseur de l’information donne une évaluation de l’information transmise.
- Les utilisateurs envoient des retours au fournisseur sur l’utilisation de l’information transmise.

Dans le travail de Saint-Marc, des paramètres subjectifs (dépendant des points de vue) sont proposés pour évaluer les maturités Ma et Mo. Les auteurs considèrent que les paramètres d’évaluation doivent être compréhensibles pour chaque point de vue, même si les concepteurs sont de domaines différents (l’hydraulique, la mécanique, etc.) et de connaissances différentes. La figure 31 ci-dessous montre un exemple de ces paramètres. Par exemple, le fournisseur caractérise l’information selon le fait qu’elle soit *complète, précise, finale et consolidée*. L’utilisateur qualifie l’information de *compréhensible, de consistante, d’exploitable, d’actuelle et d’acceptable*. Chaque paramètre peut prendre plusieurs valeurs. Par exemple, le fournisseur peut donner une valeur de « *à définir » (TBD), de « brouillon » (draft) ou de « complète » (full)* à une information pour caractériser le niveau de sa complétude.

	Parameters	Possible values of the parameters				
Provider	Complete	TBD*		Draft		Full
	Precise	Null	Poor	Medium	Correct	High
	Final	NO				YES
	Consolidated	NO				YES
Receiver	Comprehensive	NO	To describe	More info	To precise	YES
	Consistent	Null	Poor	Medium	Correct	High
	Exploitable	NO				YES
	Actual	Obsolete				Actual
	Acceptable	NO	To modify	N/A	To discuss	YES
	Values	0	25	50	75	100

* TBD : To Be Defined

Figure 31 Exemple de paramètres d’évaluation de maturité définis par l’émetteur et l’utilisateur [Saint-Marc 04]

L’idée majeure du travail de Saint-Marc, est que les deux visions de l’émetteur et l’utilisateur doivent être prises en compte pour évaluer la maturité de l’information échangée. Aussi la maturité est estimée par rapport à un objectif de maturité (Mo) et donc dépend des exigences définies aux jalons (durs) entre les phases.

Cela dit, les paramètres de maturité proposés sont spécifiques aux acteurs du centre de recherche de EADS. Aussi, la caractérisation des informations porte sur des informations des livrables, échangées au niveau macroscopique du processus de conception (phases ou processus). Les auteurs supposent que les critères de maturité ci-dessus sont assez génériques pour être partagés entre différents acteurs de différents métiers, dans n'importe quel projet et pour n'importe quelle équipe projet. Or il est difficile de trouver des critères universels applicables pour n'importe quel contexte. Ce dernier joue beaucoup dans la compréhension et le partage de la maturité.

4.11 Complétude

Le terme « complétude » est souvent utilisé pour signifier le degré de détail de l'information. Dans le domaine de la médecine et concernant les travaux de la qualification des ressources médicales sur Internet, Beck et al. [Beck et al. 00] définissent la complétude comme *la couverture de l'information*[68]. Par couverture, les auteurs renvoient aux dimensions de la *profondeur* et de l'*ampleur* de l'information par rapport au thème et de la *compréhension* que l'utilisateur peut avoir sur l'information [Jacobson et al. 1996].

L'*ampleur* signifie que tous les aspects du sujet sont décrits. La *profondeur* est le degré de détail de l'information [Smith, 1996, 1997]. La complétude peut être validée par la comparaison de l'information avec des ressources sur le même thème. Il s'agit de déterminer si les informations présentées sont équivalentes. La couverture des sujets dépend fortement des utilisateurs de l'information et de leur compréhension du sujet. Par exemple, une information adressée à l'usage des professionnels de la santé doit avoir une couverture plus large que celles adressée aux patients.

4.12 Qualité d'une ressource

D'autres critères de qualification de l'information sont proposés dans les travaux de gestion des ressources documentaires et dans différents domaines (académique, médecine, recherche documentaire, etc.). Certains auteurs tels que McLachlan [McLachlan 02] proposent un système de classement des ressources documentaires basé sur les critères : *informations de*

[68] L'information dans ces travaux renvoie à un document médical.

l'émetteur, fiabilité de l'information, qualité de l'information et autres informations. D'autres tel que Mitretek [Mitretek 1999] proposent des questionnaires dont les réponses contribuent à au classement du document.

Cela dit, l'ensemble des critères de qualification des ressources documentaires (numérisés ou pas, sur Internet ou pas) s'applique uniquement sur des ressources documentaires stables, c'est-à-dire qui sont peu soumises à des variations. Ces approches sont trés utiles pour l'évaluation des ressources de provenance externe au processus de conception de produit, tel que des rapports de tests, des calculs effectués par un fournisseur, des plans géologiques, etc. Cependant, ces approches sont peu adaptées aux informations produites et échangées pendant le processus de conception telles que les modèles CAO, les notes techniques, etc.

4.13 Travaux de quantification de la maturité

En pratique, les critères, tels que la variation et la sensibilité, la confiance, etc. ne sont pas toujours faciles à quantifier. Cela dit, plusieurs travaux de quantification sont proposés dans la littérature. Wilkilson [Wilkinson et al 1996] et McLachlan [McLachlan 02] construisent des questionnaires organisés en plusieurs catégories de la qualité de l'information. D'autres chercheurs qualifient l'incertitude de l'information en utilisant des méthodes statistiques [Antonsson et al 1991] [Krishnan et al 1997] [Crossland 03].

Partant du fait que les critères de maturité représentent des quantités subjectives, d'autres travaux [Yassine et al 1999] [Merkhofer 1987] proposent une évaluation discrète des critères de maturité. Les valeurs des critères peuvent être obtenues à l'aide d'*un processus d'entretien structuré* des experts lors d'une situation spécifique de conception (*structured interview process*) [Shephard et al. 1994].

Krishan et al. [Krishnan et al 1997] proposent des évaluations qualitatives de ces critères afin de montrer comment organiser les activités. Ces mesures qualitatives consistent en une grille de quatre cases pour chaque critère de variation et de sensibilité relatives aux valeurs : *faible* et *élevé.* La combinaison de ces deux grilles donne des indications sur l'organisation des activités. Cependant, les auteurs [Krishnan et al. 1997] [Bhuyian et al. 04] [Eversheim 1997] expliquent que pour évaluer ces critères, les experts interrogés doivent fournir un certain nombre d'informations sur l'objet analysé dans le processus. Ces informations aident ainsi à estimer des valeurs qualitative des critères : *variation, sensibilité, etc.* Dans l'annexe 5 nous

proposons des tableaux pour l'estimation des valeurs de la variation et de la sensibilité, à partir de l'observation sur le terrain.

Cela dit, l'estimation a priori des critères de maturité se fait sur la base d'un certain nombre d'hypothèses puisque que le processus de conception d'un nouveau produit n'est souvent pas radicalement différent de ceux des produits déjà conçus [Albano et Keska 1989, McGrath et al 1992]. Cependant, on voit bien que si le changement dans le processus est substantiel ou le produit est entièrement nouveau, l'estimation des critères de maturité devient difficile. Selon Krishnan [Krishnan et al 1997], l'estimation de ces critères doit être basée sur des concepts de conception particuliers, sur une architecture de produit particulière et des technologies particulières.

La démarche employée pour l'estimation de la complétude est inspirée des démarches employées pour l'estimation de la variation et de la sensibilité. Dans l'annexe 5, nous proposons un tableau pour l'estimation des valeurs de la complétude à partir de l'observation sur le terrain.

L'estimation des critères de maturité d'un objet est qualitative et est organisée en quatre paliers numériques arbitraires : 0 (valeur nulle), 1 (valeur faible), 2 (valeur moyenne), et 3 (valeur élevée). Les tableaux suivants résument les différents niveaux de quantification de la variation, de la sensibilité et de la complétude.

Niveaux de variation	Description des niveaux de l'attribut
0	*Très instable* : La probabilité qu'un objet approche sa valeur finale est nulle.
1	*Instable :* La probabilité qu'un objet approche sa valeur finale est faible.
2	*Modérément instable* : La probabilité qu'un objet approche sa valeur finale est modérément élevée.
3	*Stable* **:** La probabilité que l'objet approche sa valeur finale est élevée.

Tableau 6 Niveaux de variation d'une activité (inspiré des travaux de [Krishnan et al. 1997]

Il est à noter que les niveaux de sensibilité d'une activité aux variations des informations en entrée sont équivalents aux niveaux de sensibilité des informations résultantes de cette activité aux variations des informations en entrée.

Niveaux de sensibilité	Description des niveaux de sensibilité
0	*Non sensible* : L'activité est insensible à tout changement de l'objet entrant.
1	*Faiblement sensible* : L'activité est peu sensible à tout changement de l'objet entrant.
2	*Modérément Sensibilité :* L'activité est sensible de façon modérée au moindre changement de l'objet entrant.
3	*Sensible* : L'activité est très sensible au moindre changement de l'objet entrant.

Tableau 7 Niveaux de sensibilité d'une information (inspiré des travaux de [Yassine et al. 1999])

Tel qu'il est présenté dans la partie précédente, la complétude est la combinaison de la profondeur (la nature du changement*)* et l'ampleur de l'information. Si, par exemple, un objet intermédiaire est de degré d'abstraction élevé, il ne répond évidemment pas à tous les objectifs de ses utilisateurs et par conséquent, son degré de complétude est moindre. Si un objet intermédiaire répond à tous les objectifs de ses utilisateurs, il devrait, dans ce cas, être concret, précis et détaillé et donc complet. Les niveaux de la complétude exposés dans le tableau ci-dessous, ont été proposés dans nos travaux [Grebici et al 06a].

Niveaux de complétude	Description du niveau de complétude
0	*Incomplet* : L'objet est de profondeur nulle ou d'ampleur nulle.
1	*Très partiel* : L'objet est d'ampleur et de profondeur faibles. (l'objet ne répond pas à la majorité des attentes et la majorité de ses parties n'a pas été finalisée).
2	*Partiel* : L'objet est de profondeur et d'ampleur modérées. (l'objet répond à la majorité des attentes et la plupart de ses parties sont finalisées).
3	*Complet* : L'objet est d'ampleur et de profondeur élevées. (l'objet répond à toutes les attentes et toutes ses parties sont finalisées).

Tableau 8 Niveaux de complétude de l'information [Grebici et al. 06a]

4.14 Quelques exemples d'outils de qualification de l'information de conception

Signposting

Signposting est à la fois une démarche mais aussi un outil de gestion du processus de conception. L'approche de modélisation du processus de conception a été initialement

proposée par Hamilton [Hamilton et al. 1997]. Elle concernait le modèle de processus de conception des retors dans l'entreprise Westland. D'autres travaux ont suivi [Jarret 2002], et [O'Donovan et al. 2003]. Ces derniers proposent d'étendre Signposting en identifiant la séquence de toutes les étapes nécessaires pour accomplir la conception à partir d'un point de départ et ce en se basant sur un modèle de Markov.

Trois éléments sont à la base du modèle Signposting : les *tâches,* les *états* et les *paramètres Signposting* (figure 32). Les paramètres dans Singposting ne concernent pas uniquement les paramètres au sens traditionnel (caractéristiques géométriques) mais également des paramètres tels que la main d'œuvre. Un paramètre Signposting est tout ce qui peut être en entrée ou en sortie d'une tâche (figure 32).

Chaque paramètre dans le modèle à un *identifiant* (tel que le nom) et un *qualifiant*. Ce dernier est une représentation abstraite de la qualité ou de la maturité du paramètre et varie en fonction du paramètre, par exemple : le qualifiant des concepts et des descriptions de fabrication serait *le niveau de définition*, alors que le qualifiant du comportement et de la performance de la pièce serait : l'adéquation aux besoins et/ou l'exactitude des connaissances, etc. [O'Donovan et al. 03].

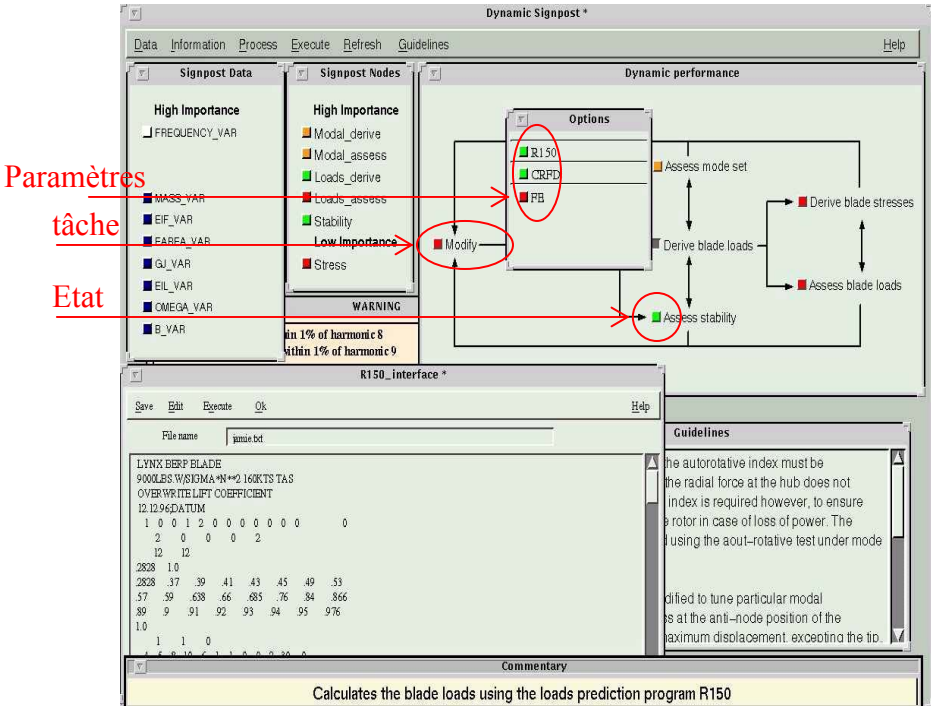


Figure 32 Interface de l'outil Signposting

Ce qui est aussi intéressant dans le modèle Signposting est qu'il est possible de suivre le statut de l'information dans tout le processus. Par exemple, la largeur d'une pièce est de 200 mm est une *estimation initiale (couleur rouge dans la figure 32)***,** *une valeur en cours (working value) (couleur jaune dans la figure 32), ou la dimension finale fabriquée (couleur vert)*. O'Donovan, Clarkson et Eckert justifient l'utilisation de ces qualifiants par le fait qu'ils sont significatifs aux yeux des concepteurs et suscitent leur confiance.

L'ensemble des valeurs de tous les paramètres et de leurs qualifiants représente un *état* du processus (figure 32). Ce dernier permet de voir le travail accompli c'est-à-dire les tâches réalisées, et le travail qu'il reste à effectuer (c'est-à-dire, non réalisées) en fonction des valeurs des qualifiants identifiés à l'entrée et à la sortie du processus, etc.

Une tâche dans ce modèle représente le transfert d'un état d'entrée (input) valide à un ou des états de sortie (output) avec des probabilités de réalisation. Un état d'entrée représente l'état des paramètres d'entrée et de leurs niveaux minimums des qualifiants nécessaire à l'exécution de la des tâche. Un état de sortie correspond au nouvel état des paramètres après que la tâche soit complétée.

QAP : Quality Audit Proforma

Culley [Culley et al. 05] analyse plusieurs outils de qualification de la qualité des ressources documentaires dans différents domaines. A partir d'une centaine de critères de qualification, les auteurs arrivent à en extraire une trentaine. Ces derniers sont obtenus après un tri et une consolidation des critères identifiés.

Les auteurs proposent un outil d'audit QAP (Quality Audit Proforma) développé sous Excel. Cet outil permet de qualifier qualitativement et subjectivement la qualité des documents de conception à l'aide de questionnaires (figure 33). La qualité d'un document dans QAP est représentée par les quatre catégories de critères : *autorité, validité, pertinence et structure* (figure 33).

- L'*autorité* est définie comme une mesure des compétences des responsables (auteurs et organisations)/ Les critères de qualification sont par exemple : la réputation, l'expérience sur des travaux passés, etc.
- *La validité* reflète la manière dont le contenu du document a été validé. Il peut s'agir de critères tels que le nombre de citation dans d'autres documents, l'age du document, etc.

- *La pertinence* représente une dimension de la qualité qui dépend de l'utilisateur du document. La pertinence est définie par l'adéquation de l'information aux besoins de l'utilisateur, c'est-à-dire par le détail du sujet, la nouveauté, l'étendu de la couverture des objectifs, etc.

- *La structure* représente les éléments visuels et organisationnels du document qui facilitent l'utilisation du document et donnent le contexte de l'élaboration du document, tel que le nom de l'auteur.

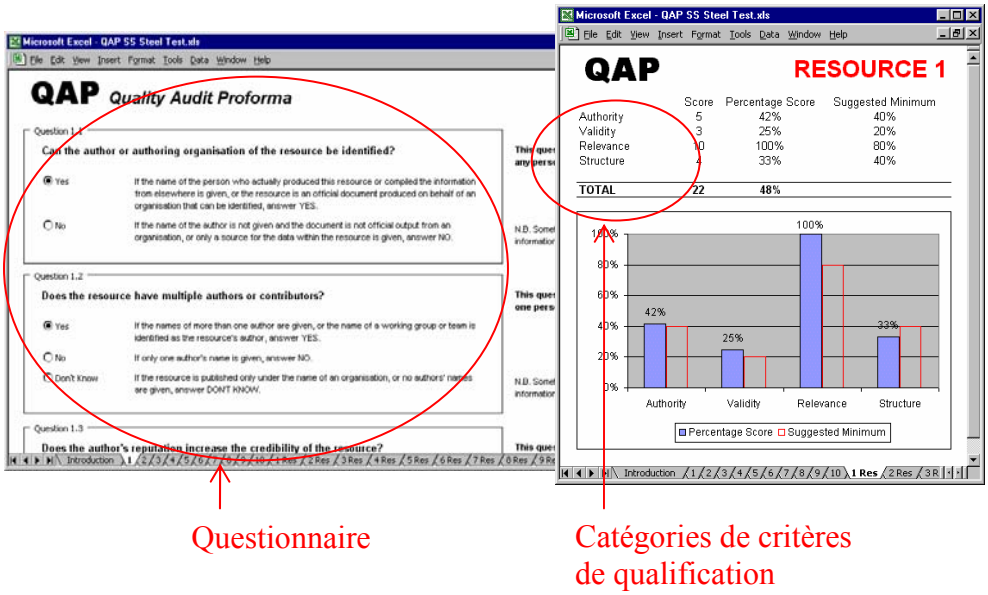


Figure 33 Interface de l'outil QAP

L'estimation de ces quatre catégories de critères est effectuée en répondant à des questions à réponses multiples (figure 34). Chaque réponse peut affecter la valeur de la qualité du document de manière différente. Les réponses correspondent à des niveaux affectant la qualité (rating score) : -3, -2, -1, 0, 1, 2 et 3.

+3	Has a very strong positive effect on document quality
+2	Has a significant positive effect on document quality
+1	Has a small positive effect on document quality
0	Has no effect on document quality
-1	Has a small negative effect on document quality
-2	Has a significant negative effect on document quality
-3	Has a very strong negative effect on document quality

Figure 34 Question et schéma de rating dans QAP.

Prototype EMICA

Les travaux de St Marc [St-Marc et al. 04] ont abouti au développement d'un prototype EMICA[69] sous Windchill©. Cet outil représente un illustrateur et une base de test des concepts de la maturité des données (cf §3.10). L'outil permet des calculs automatiques de ces derniers. En se basant sur un cycle de maturité, deux systèmes de workflow ont été créés et implantés dans l'outil EMICA. Le premier workflow permet de suivre la maturité des documents mobilisés dans le processus de conception. Le second est utilisé pour suivre l'évolution itérative de la maturité des documents.

L'outil EMICA a été mis en place afin d'améliorer la communication entre différentes équipes de conception. Cet outil permet aux concepteurs de suivre les échanges de données ainsi que l'évolution de leur maturité entre deux jalons du processus de conception. Quand il commence un document, l'émetteur définit les paramètres de maturité associés et informe les différents concepteurs devant recevoir le document. Après la réception du document, chaque receveur lit le document et informe automatiquement l'émetteur sur la maturité qu'il attend (à travers les valeurs des paramètres de maturité définis par l'utilisateur (cf. §3.10).

Les réponses des receveurs du document sont prises en compte à travers le calcul des valeurs des paramètres de maturité (utilisateur) du document. Chaque évolution de la maturité est inclue dans une boucle itérative permettant l'évaluation de la maturité objective et de la maturité relative du document (cf. §3.10). L'émetteur du document peut ainsi consulter l'historique des valeurs de maturité de l'information (par utilisateur).

[69] Evaluation of Maturity of Information in Aeronautical Design.

4.15 Synthèse

L'analyse effectuée ci-dessus sur les différents points de vue concernant la caractérisation et la qualification d'une information montre que la maturité d'une information est définie dans l'interaction. La maturité correspond à la fois à *l'audit que l'émetteur* effectue avant de diffuser l'information et à la *qualification que l'utilisateur* effectue sur l'information par rapport à ses attentes (figure 35).

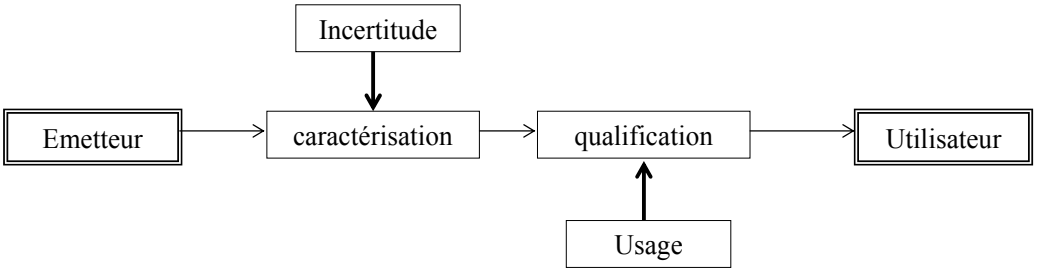


Figure 35 La maturité est un compromis entre la caractérisation et la qualification

Nous synthétisons la maturité d'une information à l'aide de deux processus :

1. *La caractérisation* de l'*incertitude* de l'information par son émetteur (figure 35). Ce critère suggère que l'information peut évoluer dans le temps. Son instabilité est due à plusieurs raisons : le changement des besoins du client, l'information est à l'interface de plusieurs métiers, les acteurs fournisseurs de l'information ne sont pas confiants par rapport à leur fiabilité, etc. Evaluer l'incertitude de l'information revient à répondre aux questions : (1) Quelle est la nature du changement ? (2) Quelle est la fréquence de changement attendue ? (3) Quel est le taux de changement ? (4) Quelles sont les raisons possibles du changement ? (5) Quel est le degré de confiance que l'émetteur de l'information a sur cette dernière ?

La première question renvoie à la nature de l'incertitude (figure 35). En effet, une information peut être incertaine car elle est *numériquement imprécise* (une puissance installée entre 21 KWH et 24 KWH), *catégoriquement imprécise* (une salle de commande à l'amont ou à l'aval de l'usine), *vague* (un débit aval *moyen*), *abstraite* (les installations de génération d'électricité est une information plus *abstraite* qu'un groupe turbine bulbe) ou *de degré de détail faible* (les informations concernant le transformateur ne sont pas toutes connues). Les *degrés d'abstraction*, *de flou*, *d'imprécision catégorique* et *de détail* correspondent à un manque

d'information sur l'identité de l'information, alors que *l'imprécision numérique* correspond au manque de connaissances sur les valeurs de l'information.

La réponse aux questions (2) et (3) ci-dessus, renvoie à l'instabilité ou au degré d'évolution de l'information [Krishnan 1997] [Yassine et al. 1999] [Terwiesch et al 1999].

Enfin la réponse à la question (5) concernant le degré de confiance que l'émetteur de l'information a sur cette dernière, renseigne sur le niveau de connaissance que l'émetteur a sur les informations qu'il produit [Goh 05] (cf. §4.4).
Ainsi, les critères *nature du changement*, *variation et confiance émetteur* représentent des indicateurs d*'incertitude* que l'émetteur de l'information utilise pour caractériser cette dernière à la sortie de son activité.

2. *La qualification de l'information* revient à évaluer l'*usage* de cette information par son utilisateur. L'usage renvoie, entre autres, à trois aspects : la *pertinence, la complétude* et la *confiance*. La *pertinence* représente *l'effet que la variation* de l'information induit sur l'activité de l'utilisateur et à la *capacité de l'information à remplir les objectifs* de l'utilisateur (*effet contextuel*). L'interprétation de l'information fait appel à un effort contextuel. Ainsi, la sensibilité d'une activité par rapport aux variations d'une information d'entrée est un critère de pertinence. Quant à l'aspect *confiance*, il dépend des dispositifs de *promesse et de jugement* que l'utilisateur peut avoir sur l'information qu'il reçoit. Evaluer la confiance revient à répondre aux questions : l'information répond elle aux normes standard de qualité ? Est-elle labellisée ? L'information a-t-elle été émise en phase avancée de la conception ? Est-elle produite/transmise par un expert ? Répond elle aux objectifs fixés par l'utilisateur ? Quels sont les risques engendrés par l'utilisation de l'information ? etc.
Enfin, la *complétude* exprimée par l'utilisateur de l'information, renvoie au degré de couverture de l'information en entrée, c'est-à-dire à la profondeur et à l'ampleur de l'information (cf. §4.11).

Nous soulignons que dans ce travail, la *profondeur* de la complétude est désignée par la nature du changement [Crossland 03] (degré de détail, degré d'abstraction, degré d'imprécision, etc.). L'*ampleur* de la complétude est désignée par le degré d'adéquation de l'information aux objectifs définis par les utilisateurs de l'information.

De manière générale, l'expérience ou la compréhension des acteurs est aussi un facteur à prendre en compte dans la qualification de la maturité de l'information. Un acteur expert

pourrait probablement évaluer une information de façon plus fidèle qu'un non expert. Ceci renforce l'aspect subjectif de la maturité. Les évaluations faites par différents individus peuvent s'avérer conflictuelles.

Il est difficile, si ce n'est impossible, de trouver des critères de maturité universels s'adaptant à toutes les entreprises, à toutes les équipes de conception et à chaque situation de conception. Il est néanmoins possible d'isoler trois classes de critères de la maturité : *les critères de maturité de sortie* (côté émetteur), les *critères de maturité intrinsèque* (côté émetteur) et les *critères de maturité d'entrée* (côté utilisateur) (figure 36).

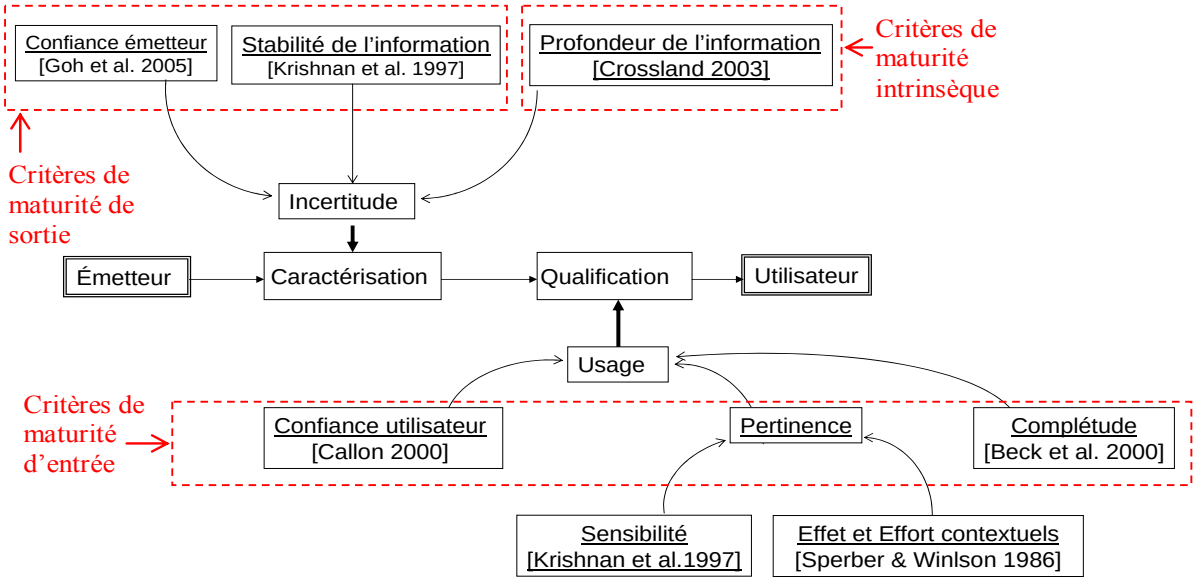


Figure 36 Maturité de l'information en conception

1. *Critères de maturité de sortie* : Un critère de *maturité de sortie* est défini par l'émetteur de l'information à la sortie de son activité. Il désigne la fréquence de changement de l'information pendant l'activité qui la fournit. C'est le cas de la variation et de la confiance de l'émetteur.

- *La variation/ la stabilité* est un indicateur d'incertitude qui représente la fréquence de changement de l'information sortante.
- *La confiance de l'émetteur* représente le niveau de connaissances et d'évidence sur les informations sortantes.

2. *Critères de maturité intrinsèque :* Un critère de maturité intrinsèque est propre à l'objet. Il représente la nature du changement incident sur l'objet ('l'imprécision, l'abstraction, le degré de détail, etc.). C'est aussi ce qu'on a qualifié auparavant de *profondeur* de l'information.

3. *Critères de maturité d'entrée :* Un critère de maturité d'entrée est défini par l'utilisateur à l'entrée de son activité. Il désigne l'impact du changement de l'information sur l'activité qui l'utilise. C'est le cas de la sensibilité, de la complétude et de la confiance de l'utilisateur.

- La *sensibilité* représente l'impact du changement de l'information en entrée d'une activité.
- La *complétude* représente l'évolution des deux dimensions : *la profondeur* (maturité intrinsèque) et *l'ampleur* d'une information par rapport à sont état de développement attendu par l'utilisateur.
- La *confiance de l'utilisateur* représente les dispositifs de jugement et de promesse appliqués sur l'information à l'entrée d'une activité.

Par ailleurs, nous rejoignons l'idée de St-Marc (cf. §4.10) sur le fait que les valeurs estimées de la maturité ne sont pas absolues mais relatives. Ils dépendent des objectifs de maturité fixés à différents jalons du processus de conception. Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre 5.

Dans la plupart des outils dédiés à la qualification des informations, il s'agit d'estimer la qualité de ressources (informations) et non pas la qualité de l'information dans la collaboration. Les travaux de St Marc s'inscrivent dans la même lignée que nos travaux, à savoir que les critères de maturité permettent non seulement la qualification des informations de conception mais aussi, ils permettent la coordination des activités entre les acteurs de la conception. Ces critères forment un outil d'aide à la collaboration des acteurs.

En conclusion, la maturité qualifie l'objet intermédiaire dans le processus de conception selon deux aspects. Il s'agit de l'incertitude de l'objet intermédiaire (à travers les critères de maturité intrinsèques et de sortie) et l'usage de l'objet (à travers les critères de maturité d'entrée).

Partie III. Cadre Proposé de la collaboration en conception de produit

Le but de cette partie est de représenter la modélisation du cadre conceptuel de collaboration proposé dans cette thèse. Dans un premier temps (chapitre 5), nous présentons l'ensemble du cadre avec la modélisation des différents concepts liés au processus de collaboration (activités, objets intermédiaires, maturité, diffusion, etc.). Ensuite, le chapitre 6 présente une démarche de facilitation de la *coopération* basée sur un ensemble de dimensions dont la *maturité des objets intermédiaires*. Enfin, le chapitre 7 est dédié à une démarche de *coordination* du processus de conception qui repose sur un certains nombre de concepts dont la *maturité des objets intermédiaires*.

Chapitre 5 : Cadre conceptuel de collaboration en conception de produit

A travers les chapitres précédents, nous avons présenté la caractérisation de la collaboration selon plusieurs points de vue. De cette analyse, nous retenons deux aspects importants de la collaboration. D'abord, il existe deux modes d'organisation de la collaboration, un mode prescrit (la coordination du processus) et un mode émergent (la coopération). Le mode prescrit sert à organiser et à cadrer la collaboration alors que le mode émergent permet la réalisation de l'activité de conception.

En outre, la collaboration peut être analysée et gérée selon une vision « activité » et selon une vision « objet ». La vision « activité » porte sur le *partage des responsabilités, la répartition des objectifs*, *le partage des connaissances* et la *dépendance entre activités* (cf. §3.4, tableau 3)). La vision « objet » concerne le *rôle des objets intermédiaires*, leur *processus de diffusion* (cf. §3.4, tableau 3) et leur *maturité*.

Le cadre de collaboration proposé intègre les aspects cités ci-dessus. Une présentation des deux modes d'organisation de la collaboration est proposé dans la section § 5.1, ensuite une modélisation de la vision « processus » de la collaboration (§5.2 et §5.3), la vision «information » de la collaboration (§5.4 et §5.5).

5.1 Deux organisations du processus de conception : cadrée et émergente

5.1.1 Organisation cadrée

La modélisation du processus de conception adoptée dans ce travail, correspond à la décomposition d'un processus de conception (projet) en différents sous processus et en phases de conception (cf. §1.1). Un sous processus de conception est terminé par une activité décisionnelle (jalon de décision) permettant soit d'interrompre le processus de conception, soit de le poursuivre (passage au processus suivant). Cette décomposition du processus est conforme au modèle de processus interne au CIH, issu de la documentation de l'entreprise (référentiels d'organisation au CIH) (exemple de la figure 37).

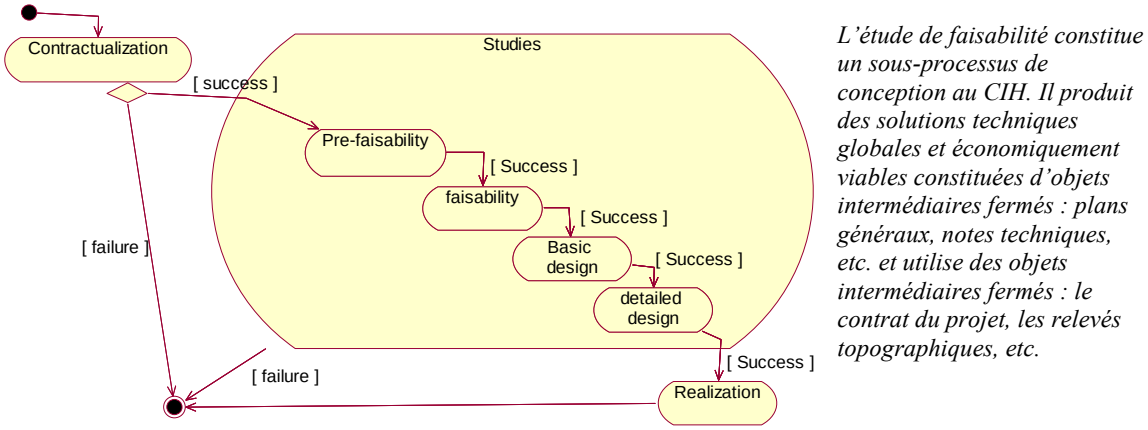


Figure 37 Processus de conception au CIH

Ce niveau de modélisation correspond à un niveau de gestion qui porte sur le pilotage du projet. L'intérêt est de répondre aux impératifs managériaux : coûts, délais et qualité. Il s'agit d'une organisation du travail autour des *livrables* échangés formellement entre des acteurs externes à l'équipe projet : client, fournisseur, etc.

Nous rappelons que chaque phase de conception, est organisée selon un planning d'exécution des activités de conception planifiées. Ce niveau de modélisation correspond à l'organisation des activités de conception planifiées afin de répondre aux besoins de réalisation du planning

projet et de gestion des ressources. Cette organisation porte sur des informations pré identifiées mais non encore formellement validées par la hiérarchie.

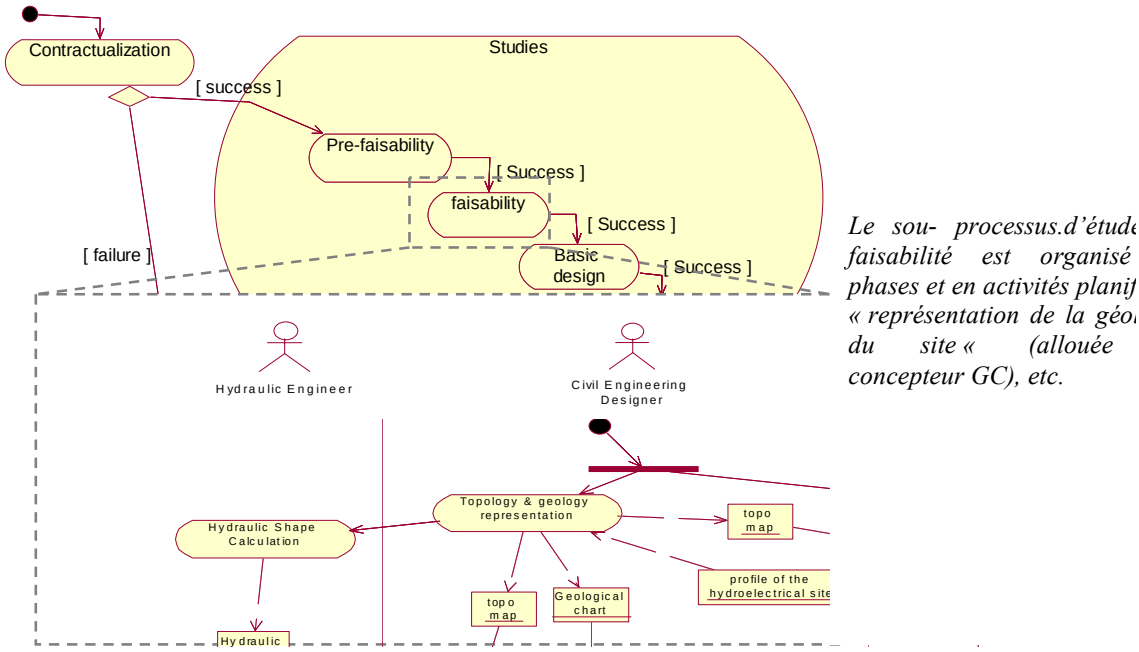


Figure 38 Zoom sur la phase de faisabilité du processus de conception au CIH

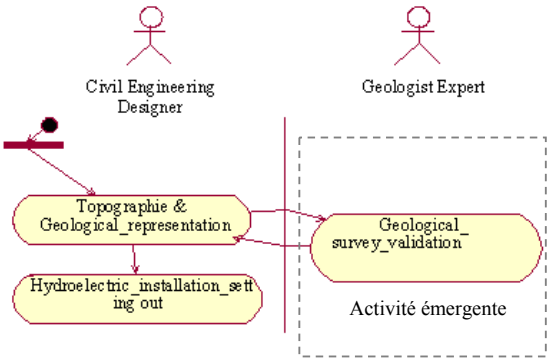
Les échanges entre les activités planifiées sont internes aux équipes projet, c'est-à-dire impliquant les membres de l'équipe projet. Ce niveau de gestion opérationnelle du projet permet d'organiser les phases de conception mais aussi d'intégrer les contraintes de gestion : coût, qualité et délai dans la réalisation des activités de conception (exemple de la figure 38).

L'ensemble des niveaux d'organisation processus, phases et activités planifiées, représente une organisation cadrée du processus de conception.

5.1.2 Organisation émergente

Une étude du processus de conception « effectif »[70] a été menée suivant l'approche de recherche présentée dans le chapitre 2. Les résultats montrent que seule la description de la phase de conception en terme de planning d'activités pré-établies n'est pas suffisante. Afin de comprendre la conception et de réaliser la conception à proprement dit, les acteurs s'organisent de façon autonome suivant un processus de conception non planifié.

[70] Processus observé sur le terrain CIH.



Pendant la réalisation de l'activité « présentation de la géologie et la topographie du site », le concepteur du Génie Civil (GC) fait appel à l'activité « validation des coordonnées géologiques » effectuée par l'expert géologue. Cette activité est non planifiée.

Figure 39 Exemple d'activité de conception émergente (non planifiée)

Le niveau de gestion émergent correspond à un niveau de l'organisation créatif et non prédéfini. Les activités de conception ne sont pas planifiées. Elles correspondent à des échanges émergents d'informations dans des réseaux personnels des acteurs de la conception. Ces réseaux sont caractérisés par une proximité métier, par un partage de connaissances, de représentations (métier et inter métier), de ressources, etc. Les acteurs impliqués à ce niveau de la conception ne font pas forcément partie de l'équipe officielle du projet (exemple de la figure 39).

Ainsi deux organisations du processus coexistent : cadrée et émergente. L'organisation cadrée consiste en la coordination du processus pré-établi à travers la modélisation du processus (sous processus), des phases, des livrables, des acteurs de l'équipe projet et des activités planifiées (figure 40). L'organisation émergente correspond aux résolutions de problèmes de conception souvent sous forme de coopération. Cette organisation émergente est réalisée à travers la création des activités non planifiées effectuées par des participants qui ne sont pas forcément de l'équipe projet (figure 40).

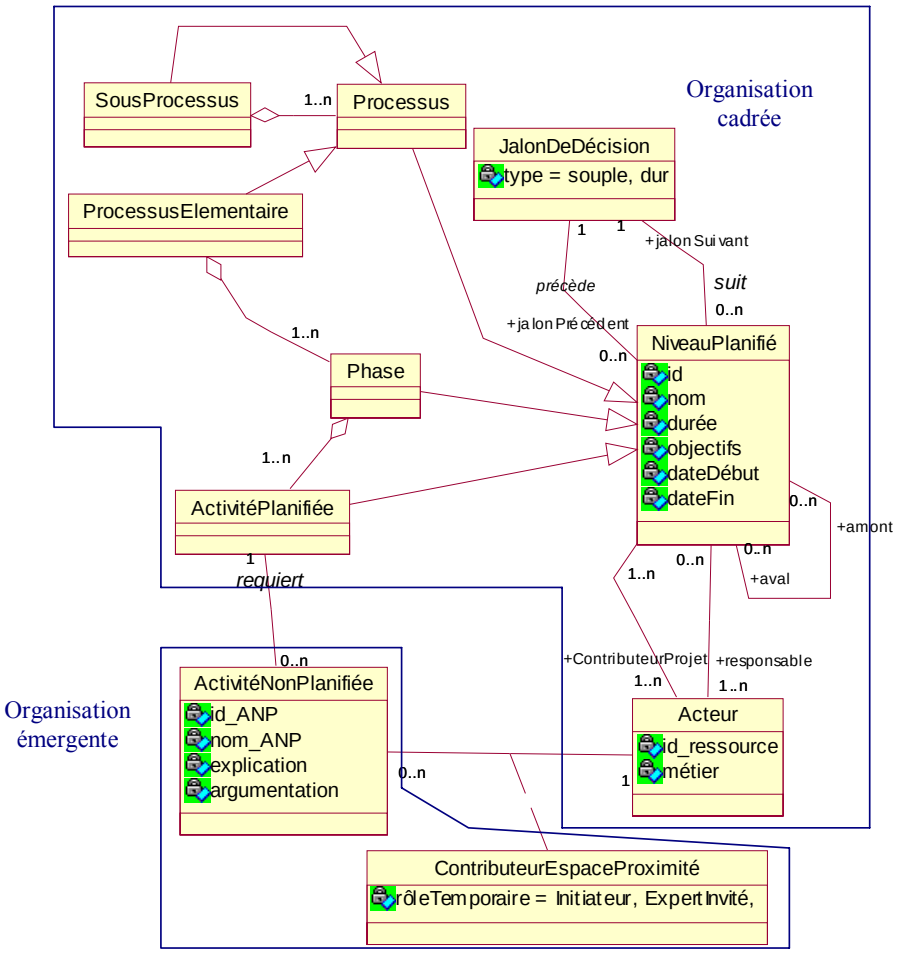


Figure 40 co-existence de deux modes d'organisation : cadré et émergent

5.2 Modélisation des modes de collaboration dans le processus de conception

La collaboration, comme il est introduit dans le chapitre 3, renvoie à la *coordination* du processus ou à la *coopération*. Nous rappelons que la *coordination* du processus est définie comme un *dispositif de planification des activités du processus de conception* qui *permet d'assurer la cohérence d'action préalablement distinguées*. La *coopération* est *action de production conjointe entre les acteurs, pour atteindre un objectif commun* (cf. §3.1.2).

Nous rappelons également les éléments de différenciation entre une situation de coopération et une situation de coordination identifiés dans le chapitre 3 (cf. §3.3.4, tableau 3), à savoir le *partage des responsabilités, la répartition des objectifs*, *le partage des connaissances*, *le rôle des informations échangées*, *la diffusion* et *le type de dépendance*.

Pour illustrer ces éléments de différenciation, nous présentons ci-dessous un exemple de coopération et un exemple de coordination pendant la phase de faisabilité au CIH[71].

Dans la coopération entre le concepteur GC et le concepteur EM (figure 41), l'un des objectifs communs est d'identifier la largeur de la centrale électrique. Une largeur minimum est requise par le concepteur GC afin de répondre aux contraintes relatives à la structure génie civil de la centrale. Cependant une largeur de la centrale maximum est requise par le concepteur EM, afin de répondre aux contraintes relatives à la puissance installée dans l'usine.

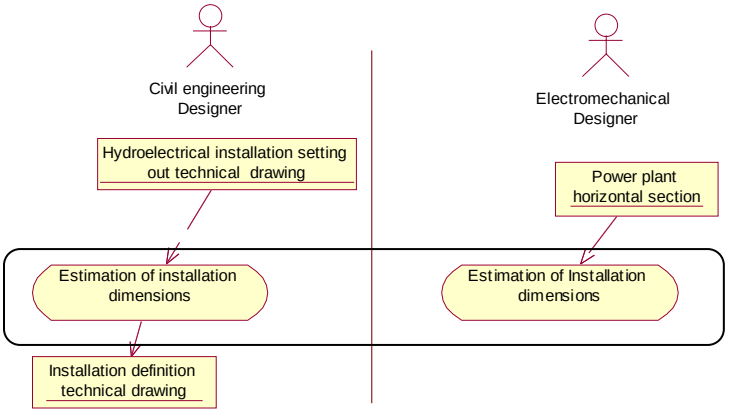


Figure 41 Coopération entre un projeteur GC et un projeteur EM

Nous pouvons constater dans cet exemple que la prise de décision sur l'activité « estimation des dimensions des installations » est commune et donc les responsabilités sont partagées entre les projeteurs génie civil et électromécanique. La coupe transversale (support de la largeur discutée) joue bien un rôle de médiateur entre le point de vue génie civil et électromécanique. Concernant la diffusion de la coupe transversale de l'usine, on voit bien qu'elle est dictée par une modalité de confrontation entre les points de vue des projeteurs. Cette confrontation des points de vue n'est possible que si les projeteurs partagent des conventions communes et des connaissances métiers. Ce qui est le cas d'après nos observations faites sur le terrain (cf. §2.2.4). Enfin, concernant le type de dépendance reliant les activités des projeteurs, il s'agit bien d'interdépendance puisqu'il est impossible de savoir dans quel ordre les contributions des projeteurs sont réalisées.

[71] Centre d'Ingénierie Hydraulique.

Etant donné l'ensemble des caractéristiques d'une coopération, nous avons choisit de modéliser cette situation sous forme d'une « super activité » qui englobe des activités de noms identiques (figure 41). Ceux sont les activités impliquées dans la coopération. Cela afin de modéliser les liens d'interdépendance entre les activités.

Nous représentons le fait qu'un acteur est responsable de l'arrêt de la coopération par les flux de données sortants de l'activité dont cet acteur. Par exemple, dans la figure 41, que le plan d'installation sort de l'activité du projeteur en génie civil. En outre, nous représentons les besoins d'utilisation dans une coopération par des flux de données entrants à l'activité dont le responsable éprouve ce besoin. Par exemple, dans la figure 41, le projeteur en électromécanique, a besoin de la section horizontale de l'usine pour pouvoir effectuer l'activité coopérative.

L'ensemble de ces modélisation représente une extension de ce que peut offrir l'outil UML 2.0 comme possibilités de modélisation par les diagrammes d'activités.

Dans la coordination entre les activités de l'ingénieur hydraulicien et l'activité du concepteur GC (figure 42), l'hydraulicien a, entre autres, comme objectif d'estimer le débit d'eau (représenté dans le profil hydraulique), alors que le concepteur GC a comme objectif d'estimer la hauteur de chute (représentée dans le plan d'implantation des installations hydraulique). Le débit d'eau comme la hauteur de chute sont ajustés de manière itérative par les deux activités de conception. Ils représentent des objets intermédiaires supports de résultats intermédiaires.

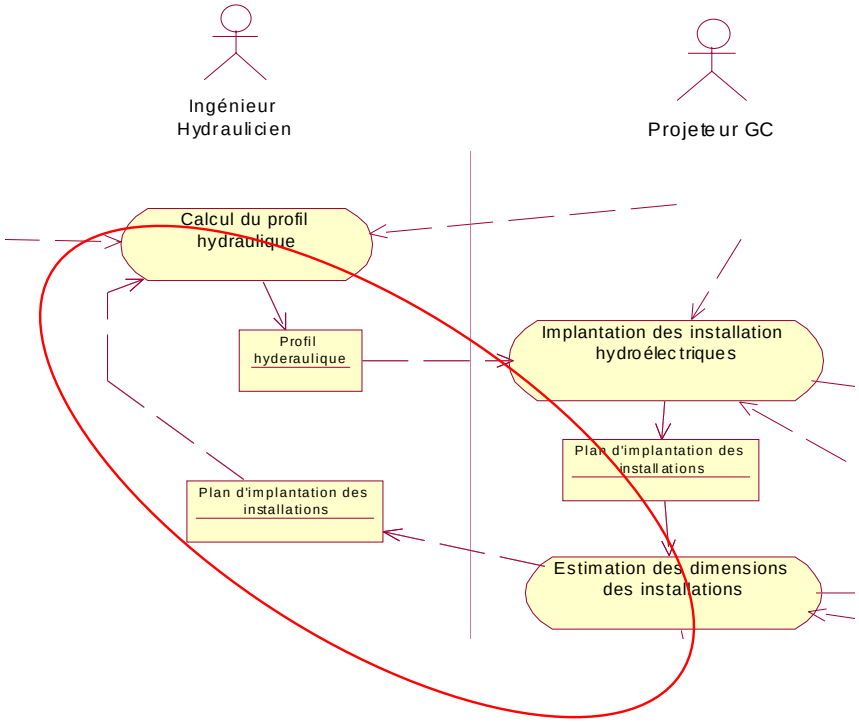


Figure 42 Coordination entre un ingénieur hydraulicien et un projeteur GC

Nous constatons que les acteurs dans ce cas partagent principalement des résultats plus que des connaissances. Nous remarquons aussi que chaque acteur a ses propres objectifs et responsabilités. L'ingénieur hydraulicien doit définir un profil hydraulique alors que le projeteur en génie civil, a comme objectif de représenter l'implantation des installations dans le site. La diffusion du profil hydraulique ainsi que du plan d'implantation des installations obéit à une modalité de mise en accord. Les acteurs se mettent d'accord sur un profil hydraulique dont le projeteur GC a besoin et sur un plan d'implantation dont l'ingénieur a besoin. Concernant le type de dépendance entre les deux activités ci-dessus, il s'agit d'une dépendance puisqu'on peut dire que l'activité de l'ingénieur hydraulicien doit s'exécuter avant celle du projeteur.

Parmi les critères de différentiation, le *rôle des objets* et *le type de dépendance* entre les informations input/output sont ceux qui nous semblent les moins simples à étudier mais les plus pertinents à analyser.

Concernant l'analyse du critère type de dépendance, nous la reportons au chapitre 6 suivant. Quant au critère « rôle des objets échangés », nous le traitons dans la section §5.3.

5.3. Modélisation des objets intermédiaires

5.3.2. Catégories d'objets intermédiaires

Nous considérons ici trois catégories d'objets intermédiaires : les *représentations*, les *nomenclatures* du produit et les *supports* (cf. annexe 1). Nous rappelons que ces objets peuvent être caractérisés par des *paramètres de conception* (cf. annexe 1).

Une nomenclature correspond à une description de niveaux successifs du produit, selon un point de vue particulier : fonctionnel, organique, géométrique, etc. (figure 43). Une *représentation* est une vue particulière qui décrit le produit (figure 43), telle que : une coupe transversale d'une usine, un modèle géométrique d'un barrage, etc. Un *support* représente toute information qui document le produit, le processus de conception ou le processus de fabrication, etc. (figure 43). Citons comme exemples de ces objets : les normes, les données géologiques, le rapport économique, etc. nous signalons que par supports intermédiaires, nous nous restreignons, dans cette thèse aux informations formalisées (structurées) et référencées dans l'entreprise.

Nous rappelons que le rôle de paramètre de conception est central dans les prises de décision en conception. Certains sont au centre de coopérations entre les acteurs. Ils sont aussi considérés comme des objets intermédiaires. Le rôle de paramètre de conception peut être joué par un objet intermédiaire de n'importe quelle catégorie (nomenclatures, représentation ou support), et peut être élémentaire ou de structure complexe. Parmi les paramètres de conception en ingénierie hydraulique, il y a : les dimensions d'une usine hydraulique, la puissance installée, la production annuelle en KWh, le débit total en sortie de l'usine, la géologie, l'hydrologie, les contraintes économiques, les normes techniques, etc. (figure 43).

La figure 43 ci-dessous, ne prend pas en compte les dépendances entre les différents objets intermédiaires. Le modèle sera enrichi au chapitre 6 par les dépendances *à la création* et *à la variation.*

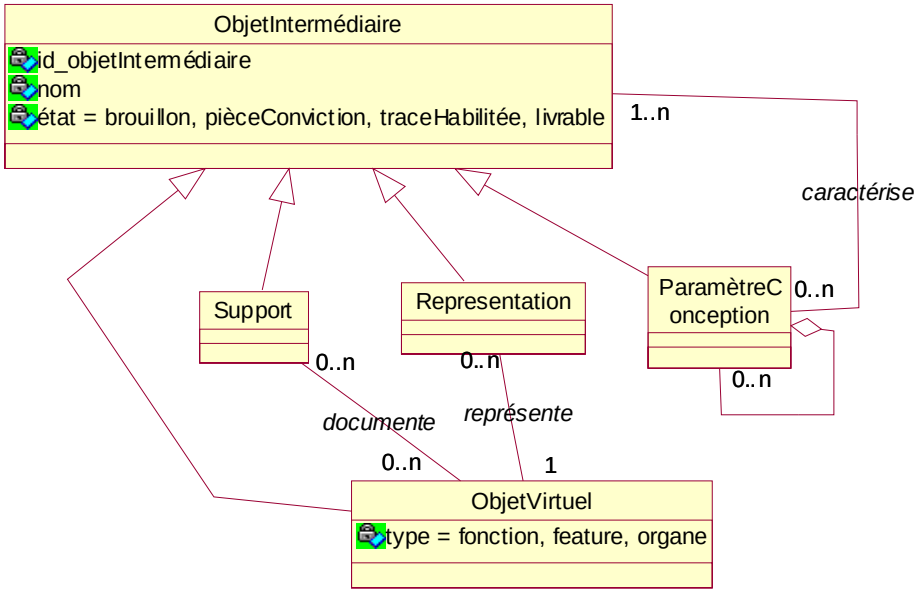
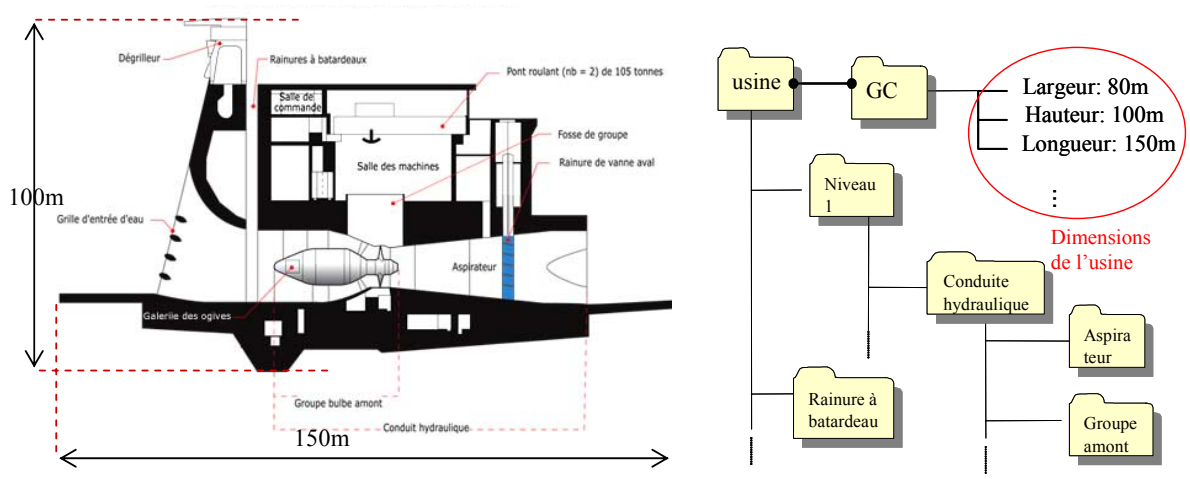


Figure 43 Catégories d'objet intermédiaire

L'instanciation de ce modèle de données évolue au fur et à mesure que les acteurs avancent dans le processus de conception et ce afin de refléter l'évolution des connaissances concernant la conception, ainsi devient-il de plus en plus spécifique et de plus en plus détaillé avec l'avancement du projet. Des instances d'objets intermédiaires qui étaient en amont *inconnus* se trouvent assignés des attributs et des valeurs d'attributs.

Les paramètres de conception collaboratifs qui se trouvent liés à plusieurs autres objets intermédiaires : représentations, nomenclatures, etc. sont critiques. En effet, les *paramètres de conception* qui caractérisent une *nomenclature* de produit, se trouvent forcément reliés à des *représentations*. Par exemple, les dimensions de l'usine dans la nomenclature structurelle de la figure 44a, se retrouvent sur le plan coupe transversal de la figure 44b. Ainsi, la variation des paramètres de conception « dimensions » de l'usine influe à la fois sur la variation de la nomenclature structurelle « usine » mais aussi sur l'évolution de la représentation « plan de coupe de l'usine ».



45a Plan coupe verticale d'une centrale centrale hydroélectrique

45b Nomenclature structurelle de l'usine

Figure 44 Exemple de nomenclature structurelle

Ainsi les paramètres de conception se retrouvant à l'intersection de plusieurs objets intermédiaires constituent l'une des raisons principale d'interdépendance entre ces objets.

Comme il est introduit dans le chapitre 1, outre l'interdépendance, une deuxième caractéristique principale des informations en conception est l'incertitude. Tous les objets intermédiaires ne sont pas certains dès le début de la conception et ne correspondent pas tous aux attentes des acteurs de la conception et aux attentes du client. Ainsi tous les objets n'ont pas les mêmes caractéristiques dans la conception. Ces caractéristiques dépendent des propriétés des objets eux-mêmes mais aussi des situations d'action dans lesquelles ils sont engagés (utilisés) [Vinck et al. 1995]. Afin de comprendre l'évolution des objets dans les projets de conception, il est important d'étudier les pratiques des acteurs de conception. Dans la partie §5.3.3 suivante, les objets intermédiaires sont étudiés selon trois axes : *l'axe prise sur l'objet, l'axe modalité d'action et l'axe maturité*.

5.3.3 Axes de caractérisations d'un objet intermédiaire

Prise et Modalité d'action sur l'objet intermédiaire

Selon les travaux de Vinck et Jeantet [Vinck et al. 1995] exposés dans le chapitre état de l'art (cf. §3.3.3), les objets intermédiaires sont caractérisés selon l'axe *degré d'ouverture/fermeture*. Nous rappelons que cet axe renvoie à la flexibilité d'interprétation et/ou de modification qu'un objet intermédiaire offert aux acteurs. Nous avons dissocié deux aspects relatifs à cet axe qui sont : la *prise* offerte aux acteurs utilisateurs [Blanco 1998] et la

modalité d'action [Lécaille 03] appliquée sur l'objet intermédiaire pendant le processus de conception (figure 45). Nous rappelons que la prise représente la capacité des objets à offrir aux acteurs la possibilité de les partager (partager des connaissances et de comprendre leurs contenus). La modalité d'action représente l'intention ou l'action effectuée sur un objet intermédiaire par un acteur, telles que : la création de la solution, l'argumentation, l'évaluation, la validation, etc. [Lécaille 03].

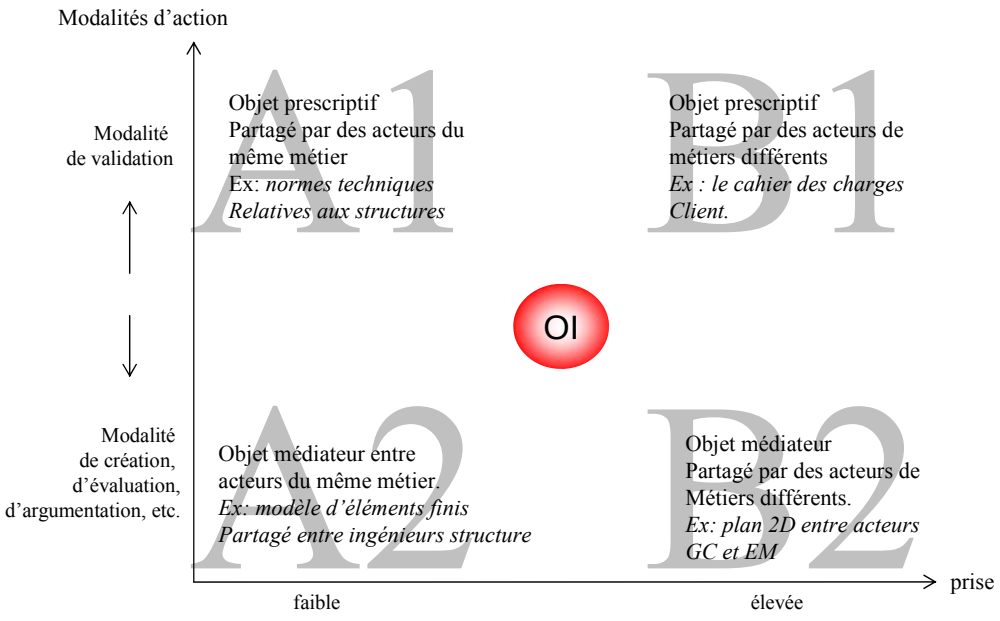


Figure 45 Prise et modalités d'action

La combinaison des deux axes ci-dessus, nous permet d'identifier des catégories d'objet selon la situation de conception dans laquelle se trouve l'objet intermédiaire. En effet, selon l'axe « prise » dans la figure 45, nous distinguons des objets dont le partage (la compréhension) est restreint à des acteurs du même métier ou de métiers proches (degré de prise faible), des objets partagés entre différents métiers (degré de prise élevé).

Les acteurs participants à la conception doivent partager l'objet intermédiaire de la catégorie A ci-dessus, à un niveau cognitif et mobiliser des connaissances propres à un métier. Si cet objet est soumis à des modalités de création, d'argumentation, etc. (A2) il est *ouvert* juste pour les acteurs du métier considéré. Sinon (A1), l'objet est prescriptif (fermé) pour tous les acteurs. Un exemple d'objets intermédiaires de la catégorie A1 est une norme technique liée au métier de structure génie civil. Un objet de la catégorie A2 est un modèle d'éléments finis partagé par les ingénieurs structure génie civil.

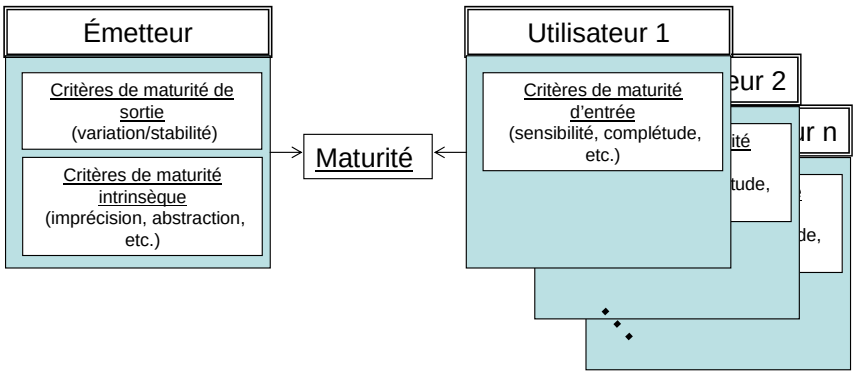
Un objet de la catégorie B est partageable entre différents acteurs de conception. On dit qu'il offre un degré de prise élevé aux acteurs. Cet objet est prescriptif (B1) et donc fermé s'il est soumis à des modalités de validation, tel qu'un cahier des charges validé par la hiérarchie. Il est ouvert (B2) dans le cas où des modalités de création, de vérification, d'argumentation, etc. sont appliquées par les acteurs partageant l'objet, tel qu'un plan 2D en cours de conception qui est partagé par des acteurs en génie civil et en électromécanique.

Cela dit, le type de modalité d'action n'est pas la seule raison de fermeture de l'objet. Un objet peut être fermé pour un acteur s'il n'offre pas de prise pour ce dernier. C'est le cas, par exemple, pour les plans 2D génie civil qui sont fermés pour un acteur du métier contrôle commande (cf. §2.2.3).

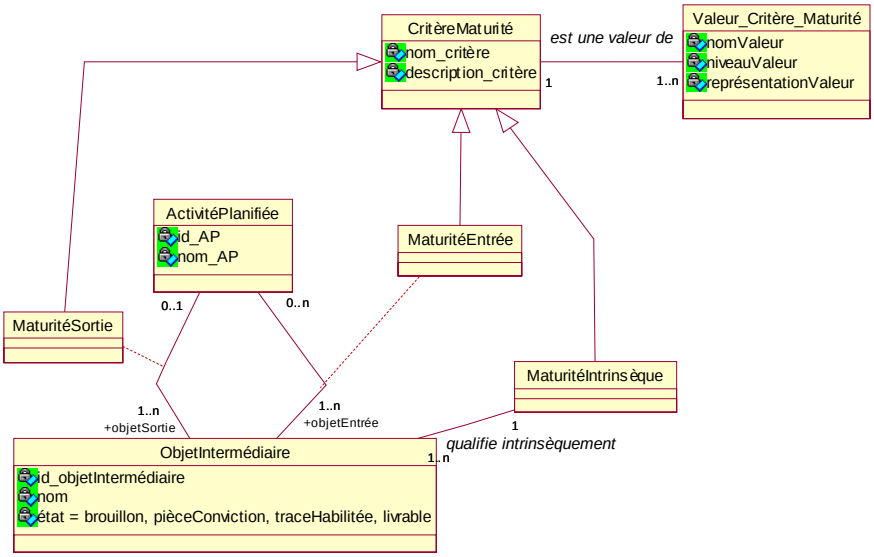
Maturité des objets intermédiaires

Le troisième axe de caractérisation des objets intermédiaires fondamental dans cette thèse, est l'axe de *maturité*. La *maturité* est définie dans l'interaction entre un acteur émetteur et un acteur utilisateur de l'objet intermédiaire (cf. §4.16).en effet, la maturité qualifie l'objet intermédiaire dans le processus de conception selon deux aspects. Il s'agit de l'incertitude de l'objet intermédiaire (à travers les critères intrinsèques et de sortie) et l'usage de l'objet (à travers les critères d'entrée).

Aussi, nous avons vu que la maturité d'un objet intermédiaire est définie par un ensemble de critères, tels que : la variation, la stabilité, la confiance, la complétude, etc. Dans notre modèle nous avons choisi de dégager trois catégories de critères de maturité : *critères de maturité de sortie (variation/stabilité)*, *critères de maturité d'entrée* (*sensibilité et complétude*) et *critère de maturité intrinsèque* (*précision, abstraction, etc.*) (cf. §4.15), dont nous avons simplifier la représentation à travers la figure 46a.



46a Représentation simplifiée des critères de maturité



46b Modélisation UML des critères de maturité

Figure 46 Critères de maturité

La figure 46b ci-dessus représente notre modélisation UML de la maturité d'un objet intermédiaire. A chaque critère de maturité *(« MaturitéSortie », « MaturitéEntrée »* et *« MaturitéIntrinsèque »*) nous associons un nom (complétude, sensibilité, etc.), une description et un type (ensemble de valeur des instances de la classe *« Valeur_Critère_Maturité »*). La représentation du type de critère de maturité peut être divers et peut être choisi par les acteurs de l'entreprise tel que le chef de projet. La démarche du choix du type de maturité est représentée dans le chapitre 9 (cf. § 9.2.6).

Les deux axes : *modalité d'action et maturité* ne sont pas indépendants. En effet, si un objet intermédiaire offre des prises à plusieurs participants, il peut être soumis à plusieurs modalités de création, de confrontation, etc. Dans ce cas, la maturité de l'objet intermédiaire peut être modifiée à maintes reprises. Inversement, si un objet est immature, les acteurs ont tendance à le confronter à d'autres points de vue afin, et donc à appliquer des modalités d'action.

En supposant que l'objet intermédiaire permet le partage et la compréhension mutuelle des représentations métier (catégorie B de la figure 45), l'objet intermédiaire est de plus en plus fermé au fur et à mesure que la solution technique est définie et que des irréversibilités (modalité de validation) sont décidées dans le processus. Ainsi seul l'axe modalité d'action appliqué sur les objets partageables nous intéresse. Autrement dit, on ne s'intéresse pas, dans cette thèse, aux raisons de fermeture liées au contenu des objets intermédiaires (prise).

5.4. Cadre de diffusion des objets intermédiaires

Publier un objet intermédiaire implique des aspects sociaux que les systèmes de gestion de l'information actuels (SGDT par exemple) ne prennent pas en considération. Nous pensons que ces systèmes doivent gérer les objets intermédiaires dans des *espaces de travail* spécifiques. En effet, tel qu'il est cité auparavant, un acteur de la conception s'engage (et est responsable) sur l'information qu'il publie aux autres acteurs. Il ne peut pas publier un *brouillon* dans n'importe quel espace de travail. Une attention particulière est portée sur l'information à publier dans les espaces de plus en plus formels. Cette précaution peut retarder la disponibilité de l'information. Par conséquent, une information existe mais n'est pas disponible.

L'idée est donc de pouvoir détecter les problèmes liés, notamment à l'aspect *maturité* de l'information tôt dans le processus, afin de réduire les risques futurs d'itération. Ainsi, nous pensons que cela est possible si les acteurs disposent d'un cadre de diffusion des objets intermédiaires immatures.

5.4.1 Espaces de travail collaboratif

Nous proposons de représenter le processus de diffusion d'un objet intermédiaire à travers différents *espaces de travail* collaboratifs. Nous caractérisons un espace de travail collaboratif suivant les quatre dimensions suivantes :

- un *périmètre de diffusion :* Cette dimension correspond au public ayant accès à l'espace de conception.

- des *rôles joués par les acteurs dans l'espace.* Ces rôles peuvent être : *organisationnels externes* à l'équipe projet (exemple : la hiérarchie), *organisationnels internes* (les membres du projet dont le chef de projet) ou *temporaires* (acteur initiateur d'un problème de conception, acteur invité, etc.).

- une *période temporelle :* Cette dimension renvoie à la période de temps durant laquelle l'espace de travail est ouvert. Un espace de travail peut être *pérenne* ou *temporaire planifié,* ou *non planifié*.

- des *objets intermédiaires* qui jouent un rôle donné. Ce rôle est défini en fonction des trois axes : une *modalité d'action, une prise et une maturité*.

En utilisant cette grille d'analyse, nous identifions quatre types d'espace de travail collaboratif : espace privé, espace de proximité, espace projet et espace public (figure 47).

Type espace de travail collaboratif	Périmètre de diffusion	Temporalité	Rôle objet intermédiaire	Type de rôles joués par les acteurs
Public	Périmètre large, non décidé par le gestionnaire, il dépend de l'environnement du SI (les dispositifs d'accès dans le système de l'entreprise).	Pérenne et planifié	Livrable	Rôle externe et organisationnel (ex : hiérarchie)
Projet	Périmètre restreint à l'équipe projet, défini par le chef de projet.	Temporaire et planifié (dépend de la durée du projet)	Trace habilitée	Rôle interne et organisationnel (ex : chef de projet)
Proximité	Périmètre restreint à un réseau personnel, défini par son initiateur.	Temporaire et non planifié (dépend des besoins de l'acteur initiateur)	Pièce à conviction	Rôle interne temporaire (ex : l'acteur initiateur de l'espace)
Privé	Pas de périmètre de diffusion.	Temporaire et non planifié	Brouillon	Rôle interne temporaire (ex: créateur de l'objet)

Figure 47 Espaces de travail collaboratif

Espace de travail privé

L*'espace de travail privé* (figure 47) ne constitue *pas un périmètre de diffusion*. Les objets manipulés sont gardés dans l'espace privé de son créateur (son disque dur, un classeur papier, etc.). L'objet n'a pas à être diffusé aux autres acteurs de la conception car soit il n'a pas encore atteint un *état de maturité* suffisant pour que son responsable s'engage sur sa diffusion, soit il est juste un moyen mobilisé pour la réflexion. L'acteur, dans cet espace, produit ses propres idées et représentations du problème, vérifie ses contraintes métier en se basant sur ses propres connaissances ou sur des connaissances communes avec d'autres acteurs du même métier ou de métiers proches. Les objets sont donc dans un état *brouillon*. Dans cet espace, il s'agit de *créer* (individuellement ou collectivement) la solution à un problème ou au projet. Cet espace est *temporaire (le temps de la création et de la vérification des hypothèses) et non planifié* (correspondant à des besoins émergeants) du processus. Les contributeurs à cet espace mobilisent des règles d'action (logiques d'action), des conventions et des objets intermédiaires. Par essence, ces objets donnent à leurs créateurs une prise et sont sujets à de nombreuses variations et évolutions (et donc sont de faible maturité).

Comme exemple d'espace privé, citons l'espace que l'ingénieur hydraulicien crée afin d'identifier le profil hydraulique du site (dans un projet de construction de barrage) [Grebici 03]. L'acteur crée un fichier géométrique (données géométriques du terrain) qui est un brouillon représentant le terrain naturel. Ce fichier est gardé dans le disque dur de l'ingénieur. Il évolue en fonction des données topographiques qui parviennent à l'ingénieur. Ce fichier peut être défini avec un autre ingénieur hydraulicien, mais ne fera pas l'objet d'une diffusion.

Pour certains brouillons, l'acteur responsable a besoin de les confronter aux points de vue des autres acteurs afin de convaincre de l'existence d'un problème ou vérifier ses hypothèses. Ainsi lorsque le brouillon a atteint un *état de maturité* qui permet à l'acteur de le diffuser, ce dernier est diffusé dans *l'espace de travail proximité.*

Espace de travail proximité

Dans l'espace de travail *proximité* (figure 47), l'acteur de la conception diffuse l'objet dans un périmètre de diffusion restreint constitué par son réseau personnel d'acteurs[72] de confiance. Les participants à cet espace oeuvrent ensemble dans une coopération afin de convaincre de l'existence d'un problème, de construire un argument robuste de la solution, de confronter des points de vue métiers ou d'évaluer la solution. L'objet intermédiaire échangé est alors dans un état de *pièce à conviction*, soumis à une modalité de persuasion [Lécaille 03]. Les contributeurs à cet espace, sont appelés à partager des connaissances communes pour pouvoir se comprendre mutuellement. L'objet est donc *ouvert* aux différentes interprétations et modifications. L'acteur initiateur de cet espace joue le rôle temporaire *d'acteur d'interface* [Moisdon 1992], qui contribue à la gestion et à l'animation la coopération. Ce rôle particulier est limité dans le temps (temporaire). L'espace de proximité est non planifié et est créé temporairement pour répondre à des besoins émergents de l'acteur. Prenons par exemple, l'espace de proximité que le concepteur en génie civil crée pour confronter, de façon informelle, les cartes géologiques du site au point de vue de l'expert géologue afin que ce dernier émette un avis sur les coordonnées géologiques du site.

Dans le méta modèle ci-dessous, un *espace de travail proximité* est ouvert par un acteur *initiateur* (figure 48) suite à l'émergence d'un problème de conception. L'initiateur invite des acteurs (*invités*) pour participer à la résolution du problème posé. Cet espace est composé *d'activités non planifiées* (figure 48). Chaque activité non planifiée est exécutée par un

[72] Ces acteurs invités peuvent être internes ou à externes à l'équipe officielle de projet.

contributeur (*initiateur* ou *invité*) et constitue une contribution au(x) problème(s) posé(s) dans l'espace de proximité : questions, explication, argumentation, etc. (figure 48). L'objet intermédiaire manipulé dans cet espace est en état de pièce à conviction (figure 48).

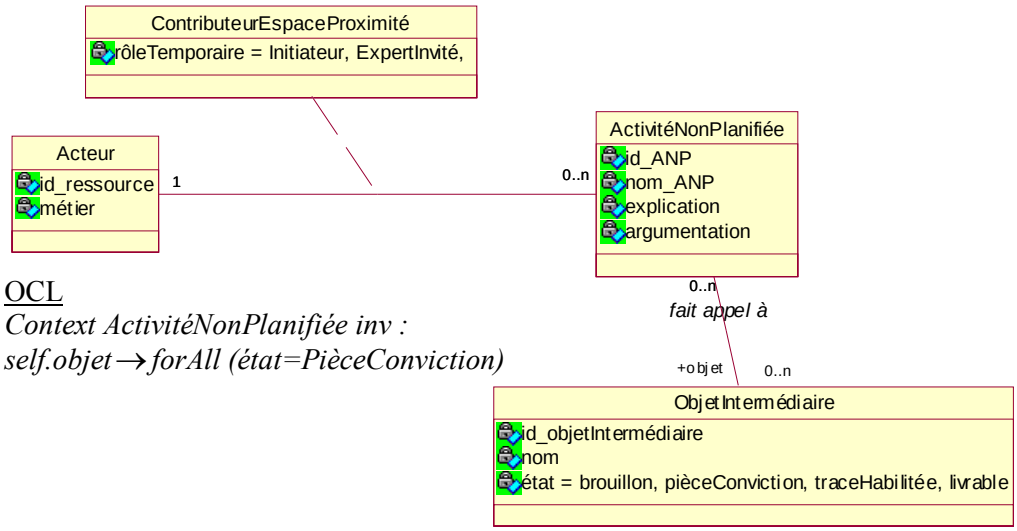


Figure 48 Méta modèle représentant l'espace de proximité

Quand l'acteur estime que son argumentation a été suffisamment et partiellement validée, l'information est jugée *habilitée* à être utilisée, il la diffuse à l'extérieur de l'espace de proximité, dans *l'espace de travail projet.*

Espace de travail projet

L'espace de travail projet (figure 47) constitue un périmètre de diffusion *planifié* dont la temporalité dépend du temps de projet. Les objets intermédiaires sont échangés dans un collectif officiel (l'équipe projet). Le nom d'espace de travail projet a été choisi pour représenter le fait que c'est un espace relatif à la coordination des activités de conception planifiées (et par conséquent des phases). L'objet diffusé dans l'espace de travail projet est plus ou moins *ouvert* aux utilisateurs. Les acteurs, dans cet espace, n'ont pas besoin de partager des connaissances communes mais ont connaissance des objectifs des uns et des autres. Les objets intermédiaires constituent des résultats[73] dont les modifications sont suivies et contrôlées par les acteurs de l'équipe projet. Les acteurs, dans cet espace, sont consentants sur la circulation des objets intermédiaires qui sont *habilités à être diffusés*. Ces derniers constituent des *traces* enregistrées dans le système de gestion commun (tel que le SGDT).

[73] Ces objets intermédiaires peuvent être incomplets. Cela en fonction du degré de recouvrement des activités qui l'échangent (cf. §4.12).

Dans le méta modèle de la figure 49 ci-dessous, il est indiqué qu'une activité planifiée produit/utilise des *traces habilitées* et qu'une phase produit/utilise des objets intermédiaires en état de *trace habilitée* si celle-ci est suivie/précédée par un *jalon souple* (cf. §1.1.4). C'est le cas par exemple, de deux phases effectuées de manière concourante[74]. Cependant, si une phase est suivie/précédée par un *jalon dur*, celle-ci doit fournir/utiliser des *livrables* (voir l'espace de travail public). Les activités planifiées ainsi que les phases font intervenir des acteurs ayant des rôles organisationnels internes, c'est-à-dire des membres de l'équipe projet.

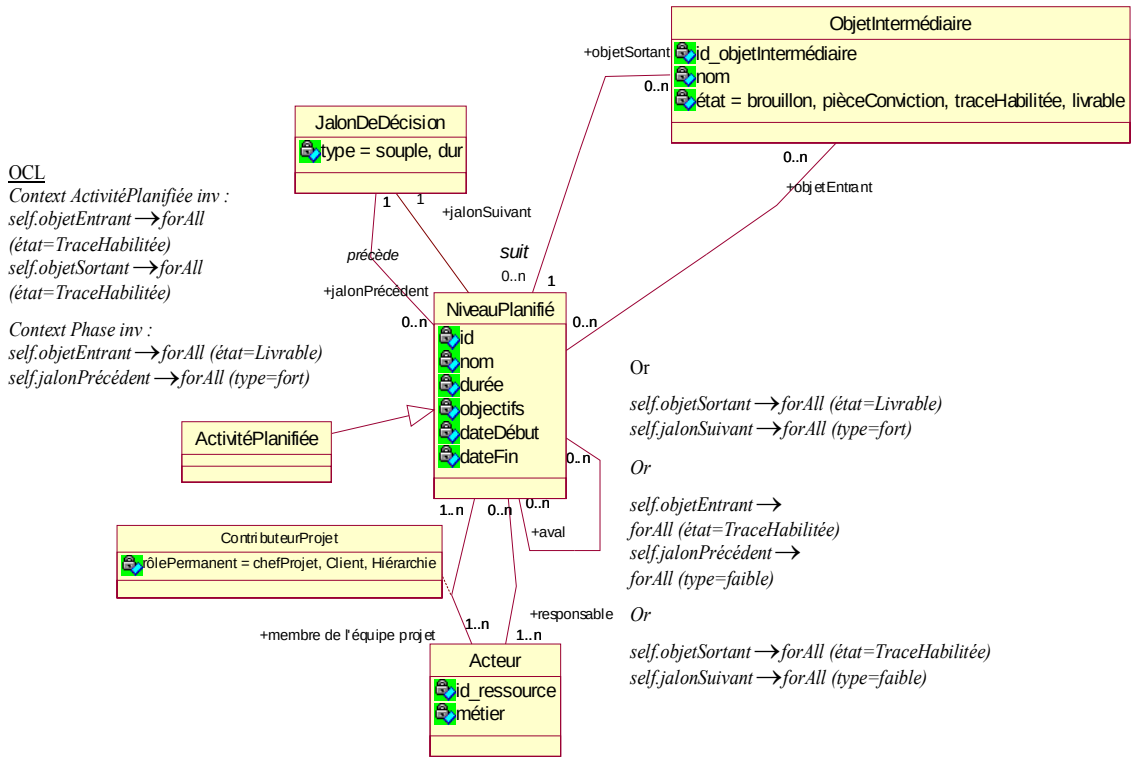


Figure 49 Méta modèle représentant l'espace projet

Comme exemple d'espace de travail projet, on peut citer l'espace dans lequel l'ingénieur hydraulicien peut diffuser le profil hydraulique en état de *trace habilitée*, au concepteur génie civil pour que ce dernier puisse l'utiliser dans son activité d'implantation des installations hydroélectriques. Les activités : « élaboration du profil hydraulique » de l'ingénieur hydraulicien et « implantation des installations dans le site » du concepteur génie civil représentent des activités planifiées et qui se coordonnent autour de l'objet intermédiaire « profil hydraulique ».

[74] Les jalons séparant deux phases exécutées de manière concourante représentent des jalons intermédiaires, généralement faibles, permettant des retours en arrière.

Espace de travail public

Finalement, une fois que le chef de projet estime que l'objet répond aux attentes du projet (besoins du client), il le valide formellement. Un processus de vérification/validation est ainsi lancé. Dans le cas de validation, l'objet intermédiaire subit une décision de gel qui permet son utilisation éventuelle par les phases et sous processus suivants. Il devient *livrable* support de prescription, objet intermédiaire *fermé*. Il est diffusé dans un périmètre plus large impliquant la hiérarchie (chef de service, chef de département, etc.), le client, etc. C'est l'espace *public* (figure 47). Ce dernier est accessible par la plupart des acteurs ayant accès au système de gestion de données techniques. Il est donc *planifié*. Le chef de projet ainsi que la hiérarchie jouent un rôle *organisationnel externe* (à l'équipe projet) dans le pilotage du projet. Exemple : à la fin de la phase de faisabilité d'un projet de construction d'une centrale hydroélectrique, la coupe en long des ouvrages, la vue en plan, la coupe transversale usine, etc. représentent des livrables qui sont des objets intermédiaires fermés.

Le méta modèle de la figure 50 ci-dessous, montre qu'un sous processus produit/utilise des objets intermédiaires en état de *livrable*. Cependant, une phase produit/utilise des *livrables* si celle-ci est suivie/précédée par un *jalon dur* (cf. §1.1.4). Les rôles des acteurs impliqués dans cet espace peuvent être des rôles organisationnels internes ou externes (hiérarchie, client, partenaire, etc.)

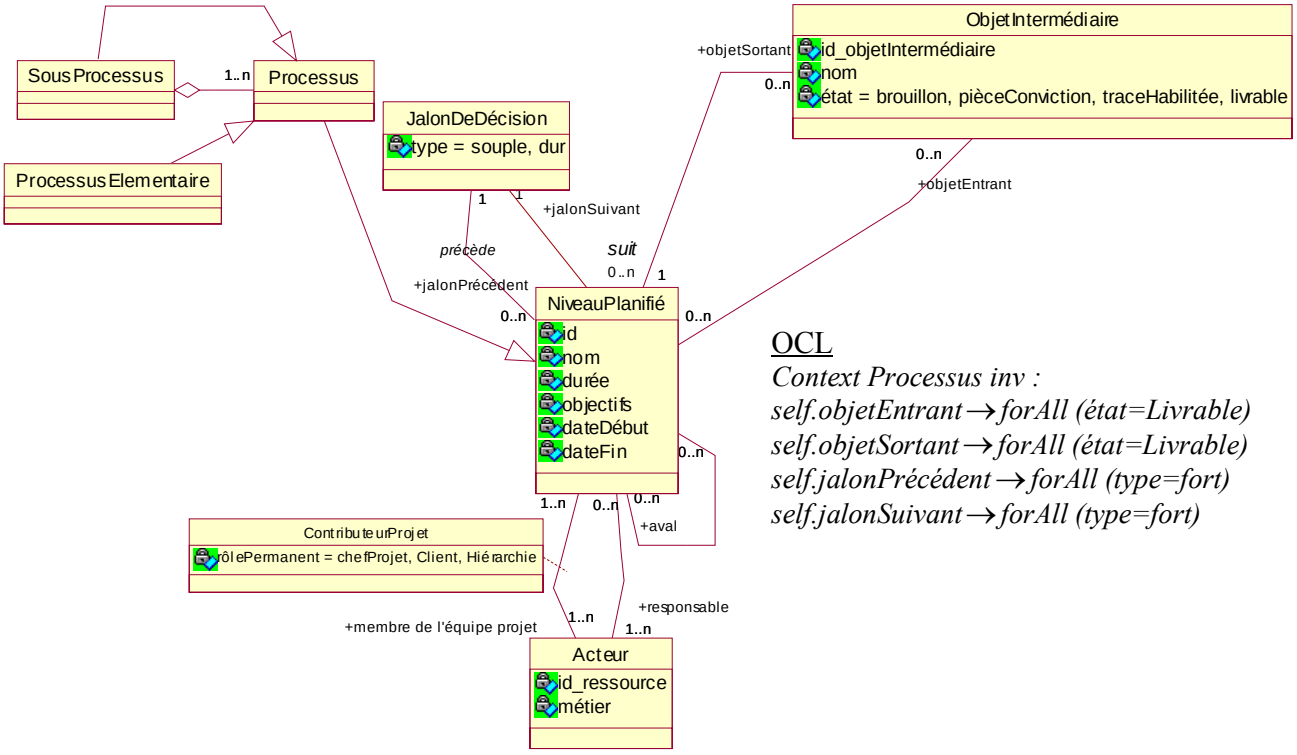


Figure 50 Méta modèle représentant les informations de l'espace public

De manière générale, à n'importe quel moment du processus de conception, les acteurs de la conception disposent d'un certain nombre d'objets intermédiaires et de connaissances et en fonction des besoins de création, de persuasion, de consentement, etc. Ils participent à un espace de travail donné (privé, proximité, etc.). Les espaces public et projet répondent à des besoins de gestion de la coordination et de pilotage de projet alors que les espaces proximités et privés répondent aux besoins émergents de coopération et de création.

Dans un objectif d'amélioration de la gestion prescriptive et émergente par la gestion de la maturité des objets intermédiaires, nous définissons, dans le paragraphe suivant, le mécanisme basé sur la *maturité* permettant le passage d'un objet intermédiaire d'un espace de travail à un autre.

5.4.2 Maturité dans les espaces de travail collaboratif

Nous observons une disjonction entre les outils de planification de projets et les outils TCAO de gestion autonome des activités non planifiées. Même si certains outils tentent d'agréger ces deux dimensions (gestion de projet et gestion de l'information), le contenu de la communication non planifiée est peu pris en compte dans les espaces planifiés. En effet, on

intègre des états de l'information généraux tels que « en cours », « finalisée », etc. [Helms 02].

L'objectif de ce travail est de proposer un mécanisme de diffusion des objets intermédiaires immatures offrant un cadre de gestion unifié des deux dimensions planifiées (espace public et espace projet) et non planifiées (espace privé et proximité).

L'idée est d'associer aux états d'un objet, l'état de pièce à conviction, l'état de trace habilitée, etc. des valeurs de maturité qui permettent aux acteurs de prendre des décisions sur la diffusion des objets dans les espaces de travail. La valeur de maturité d'un objet est définie à partir des valeurs des critères de maturité à savoir : la *maturité d'entrée*, la *maturité de sortie*, et *la maturité intrinsèque*. Le critère *confiance* est implicite dans ce travail. Il désigne l'espace de travail dans lequel l'objet est diffusé[75] (un objet intermédiaire diffusé dans l'espace projet suscite plus de confiance qu'un objet intermédiaire diffusé dans l'espace de proximité).

Exprimer les valeurs des critères de maturité a plusieurs avantages. Partant du constat que la maturité est définie par l'utilisateur et le producteur/émetteur de l'information, les critères de maturité permettent à l'utilisateur et à l'émetteur de l'information d'exprimer les valeurs des critères de maturité *attendues* et *cibles*, respectivement (figure 51). Les valeurs de maturité attendue correspondent aux valeurs définies par l'utilisateur de l'objet en fonction de ses objectifs. Cependant, les valeurs de maturité cibles correspondent aux valeurs définies par l'émetteur de l'objet en fonction de ses propres objectifs.

L'estimation des valeurs des critères de maturité attendues et cibles permet aussi la visualisation des écarts, le cas échéant, et l'identification des objets intermédiaires *critiques* dans le processus de conception (cf. §6.4).

[75] Dans ce travail nous faisons abstraction des autres attributs du critère « confiance », à savoir : les dispositifs de promesse. Nous ne considérons que la partie dispositif de jugement personnel à travers les espaces de travail.

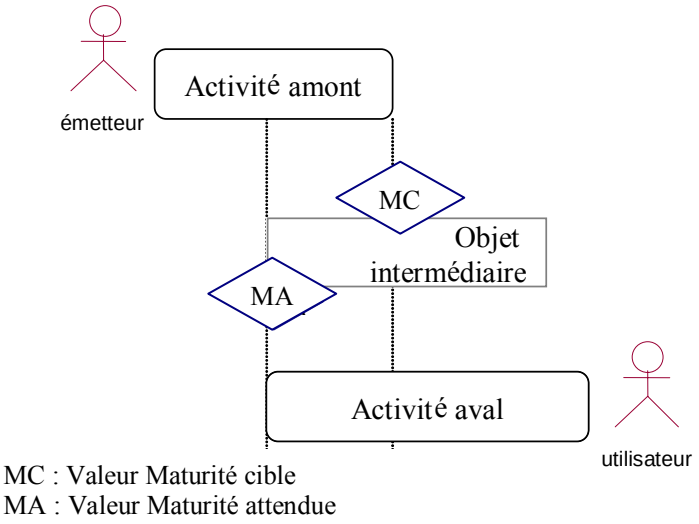


Figure 51 Les valeurs de maturité attendue et cible

5.4.3 Maturité dans l'espace projet

L'estimation des valeurs de maturité attendues et cibles induit souvent un consensus entre les acteurs (utilisateur et émetteur) afin de se mettre d'accord sur des valeurs de maturité nécessaires pour l'échange de l'objet intermédiaire et pour la coordination de leurs activités. Les valeurs des critères de maturité obtenues lors de cette mise en accord correspondent à l'état de *trace habilitée* de l'objet (figure 52).

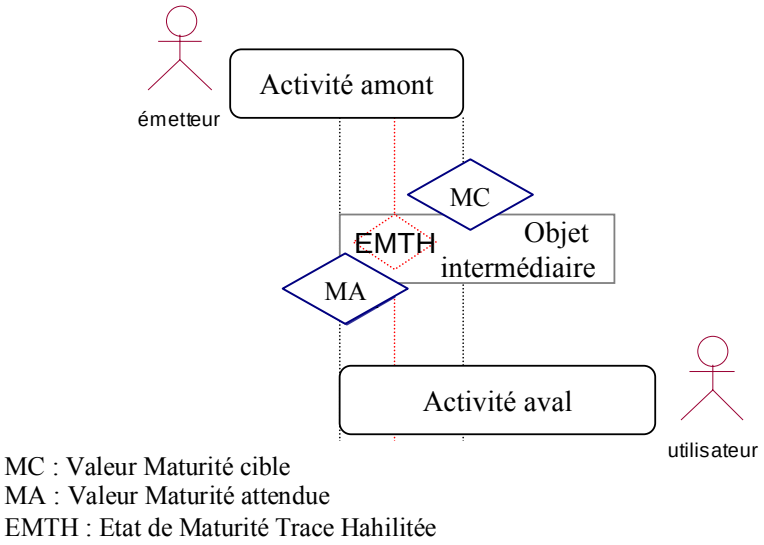


Figure 52 L'état de trace habilitée est un compromis entre les valeurs de maturité attendue et cible

Dans l'espace de travail projet, l'objet intermédiaire est au cœur des coordinations entre les activités planifiées du projet, passant ainsi d'une activité en amont comme résultat vers une activité en aval comme entrée. Nous retenons, toutefois, la définition suivante :

« L'état de trace habilitée d'un objet intermédiaire correspond aux valeurs des critères (intrinsèque, de sortie et d'entrée) (« Valeur_MaturitéIntrinsèque_TH », « MaleurMaturitéSortie_TH » et « ValeurMaturitéEntré_TH » dans la figure 53) définies par un consensus entre les attentes de l'utilisateur (maturité attendue) dans l'activité aval et les objectifs de l'émetteur (maturité cible) dans l'activité amont. Cet état permet de diffuser l'objet dans l'espace projet et par conséquent, de coordonner les activités en amont (de l'émetteur) et en aval (de l'utilisateur) ».

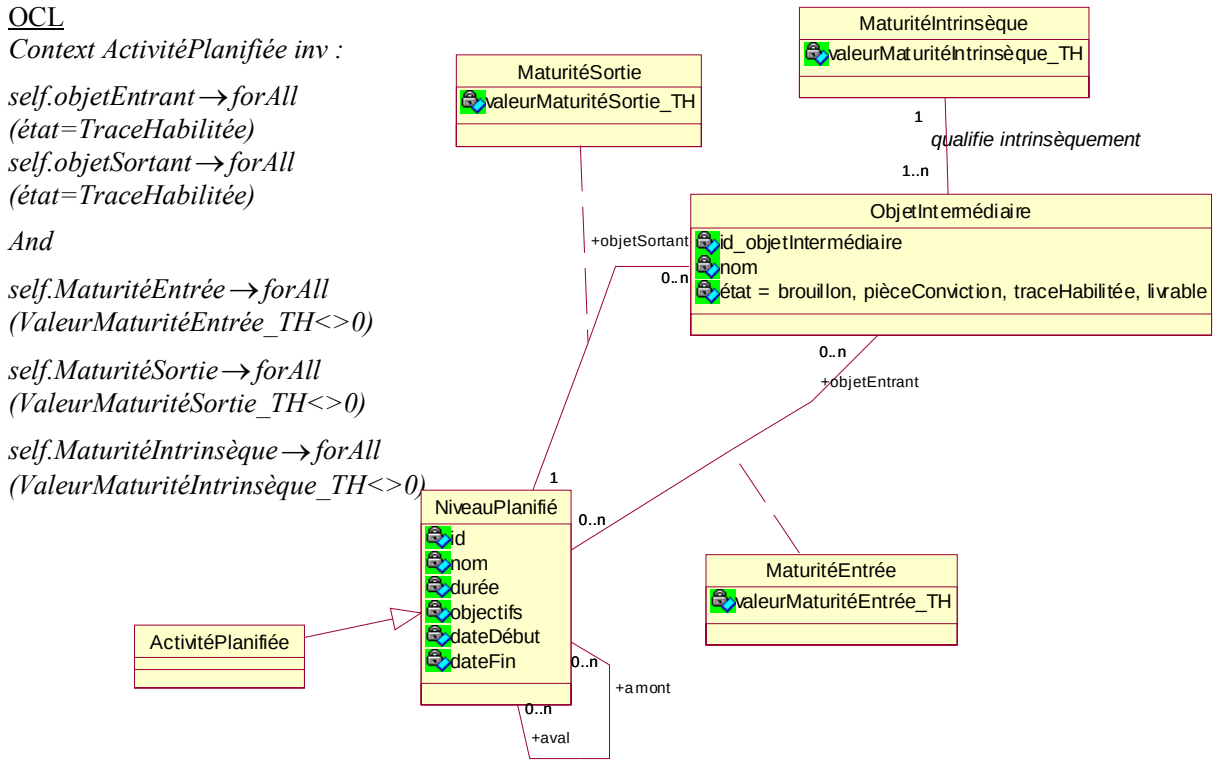


Figure 53 Méta modélisation représentant l'état de trace habilitée

La définition de l'état de maturité de trace habilitée traduit le fait qu'en dépit des impératifs managériaux (coûts, délais, qualité), le jugement des acteurs de la conception (producteurs et utilisateurs des activités planifiées) est impliqué dans la planification des activités de conception. En outre, nous verrons dans le chapitre 6 (cf. §6), que l'association de cet état à un objet intermédiaire doit être judicieuse afin d'éviter des itérations importantes des activités planifiées.

Pour illustrer le besoin des acteurs de l'état de maturité de trace habilitée, considérons les activités planifiées « calcul du profil hydraulique » et « implantation des installations hydroélectriques » de la figure 42. L'ingénieur hydraulicien produit le "profil hydraulique" (rapport hydraulique). Le concepteur Génie civil a besoin de ce dernier pour son activité afin d'estimer la "hauteur de chute"[76] associée. Le concepteur GC ne peut pas attendre qu'un « profil hydraulique » complètement mature soit transmis par l'hydraulicien pour effectuer son activité. Cet objet intermédiaire lui étant nécessaire, une mise en accord entre l'ingénieur et le concepteur est nécessaire pour fixer une maturité minimale (relative à l'état de trace habilitée) permettant d'anticiper l'activité avale, sans prendre des risques d'itérations.

5.4.4 Maturité dans l'espace public

L'état de maturité trace habilitée est certes utile pour la coordination des activités planifiées du processus, mais insuffisante pour la gestion du projet, telle que la gestion des livrables, la gestion du temps de projet, etc. Pour ce faire, nous avons jugé utile de définir un autre état de maturité objectif, qui est *l'état de livrable*. Ce dernier est aussi défini en fonction des valeurs des critères de maturité : intrinsèque, de sortie, d'entrée et complétude. Il correspond à l'état de maturité d'un objet diffusé dans l'espace public. Nous retenons la définition de l'état de livrable suivante :

« L'état livrable d'un objet correspond aux valeurs des critères de maturité (intrinsèque, de sortie et d'entrée) (« Valeur_MaturitéIntrinsèque_Livrable », « MaleurMaturitéSortie_Livrable » et « ValeurMaturitéEntré_Livrable » dans la figure 54) à un jalon (dur) du processus décidées par une autorité dans l'équipe projet afin de répondre aux impératifs de gestion. Cet état permet la diffusion de l'objet dans l'espace public ».

[76] La hauteur de chute est la distance entre le barrage et la centrale hydroélectrique

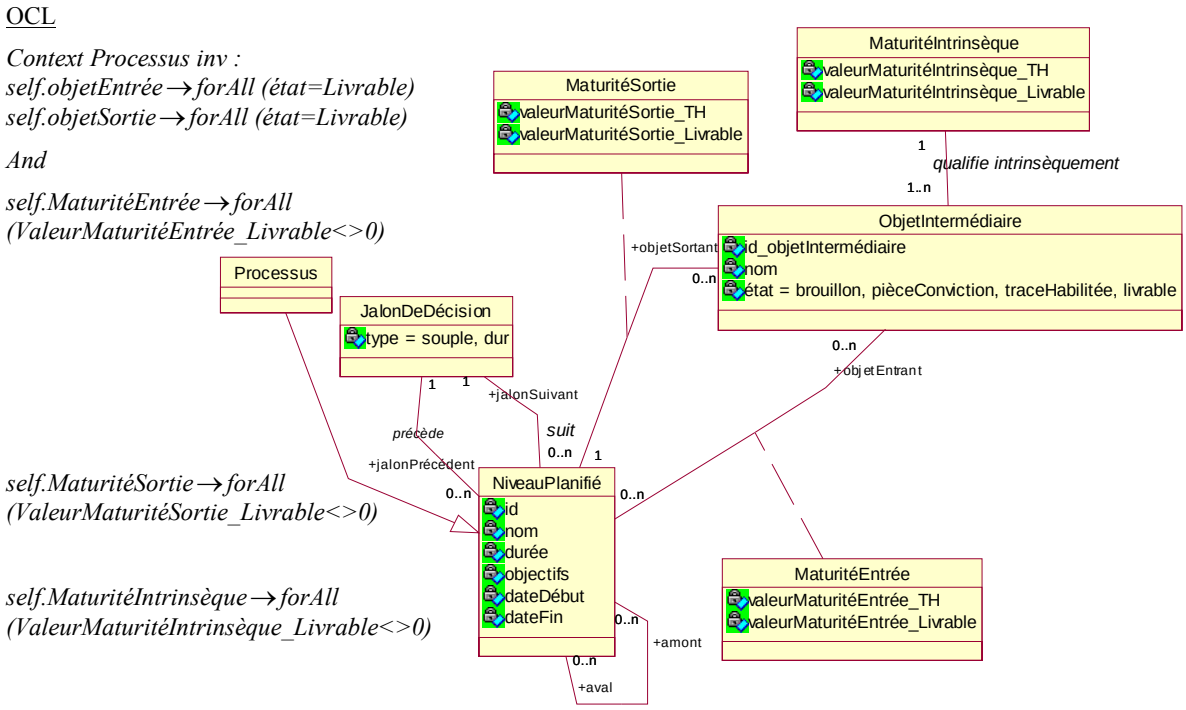


Figure 54 Critères de maturité et état de livrable d'un objet intermédiaire

Les valeurs des *critères de maturité* relatives à l'état de *livrable* peuvent être explicitées par les équipes projet, de par leurs expériences précédentes sur les projets de conception tenant en compte des impératifs de management (délai, coût, etc.) et des besoins des utilisateurs de ces livrables (phases de conception suivantes, fournisseur, client, etc.).

Mettre en place des valeurs de maturité objectives (associées aux états de livrable et de trace habilitée) permet de rendre la fiabilité des informations échangées explicites dans la gestion prescriptive du projet. Cependant, nous avons vu dans les parties précédentes, que le caractère opportuniste des activités de conception fait que les acteurs de la conception font appel à des espaces plus personnels (de proximité ou privé) afin de faire émerger la solution technique ou vérifier certaines hypothèses, arguments, négocier, etc.

5.4.5 Maturité dans les espaces de proximité

Ainsi afin d'atteindre l'état de trace habilitée, l'acteur de l'équipe de conception crée des activités de conception non planifiées. Cela peut être dans le cadre de l'espace de proximité via des activités non planifiées où des acteurs du réseau personnel de l'acteur, peuvent discuter de l'objet intermédiaire ayant un état *de pièce à conviction*. L'acteur de l'équipe de conception peut également ouvrir un espace privé pour y modifier l'objet intermédiaire en état

de *brouillon*. L'ouverture de ces espaces personnels se fait à n'importe quel moment du processus, tant que l'activité planifiée n'est pas terminée.

« L'état de pièce à conviction correspond aux valeurs des critères de maturité : intrinsèque, de sortie, d'entrée (« Valeur_MaturitéIntrinsèque_PC », « MaleurMaturitéSortie_PC » et « ValeurMaturitéEntré_PC » dans la figure 55) de l'objet intermédiaire diffusé dans l'espace proximité ».

Les valeurs des critères de maturité des pièces à convictions, contrairement, aux *livrables* et aux *traces habilitées* ne constituent pas des valeurs objectives définies au préalable. Cela dit, leur estimation est guidée par les valeurs des critères de maturité associées aux états trace habilitée et livrable de ces objets (figure 55). Ainsi un acteur, en ayant des objectifs en termes de valeurs des critères de maturité d'un objet, va organiser ses activités non planifiées collaboratives autour de l'objet en pièce à conviction, afin d'atteindre ces valeurs avant la date de diffusion de l'objet intermédiaire en état de trace habilitée dans l'espace projet. Nous verrons dans le chapitre 7 que les valeurs des critères de maturité relatives aux pièces à conviction représentent l'un des éléments d'aide à la coopération dans les espaces de proximité.

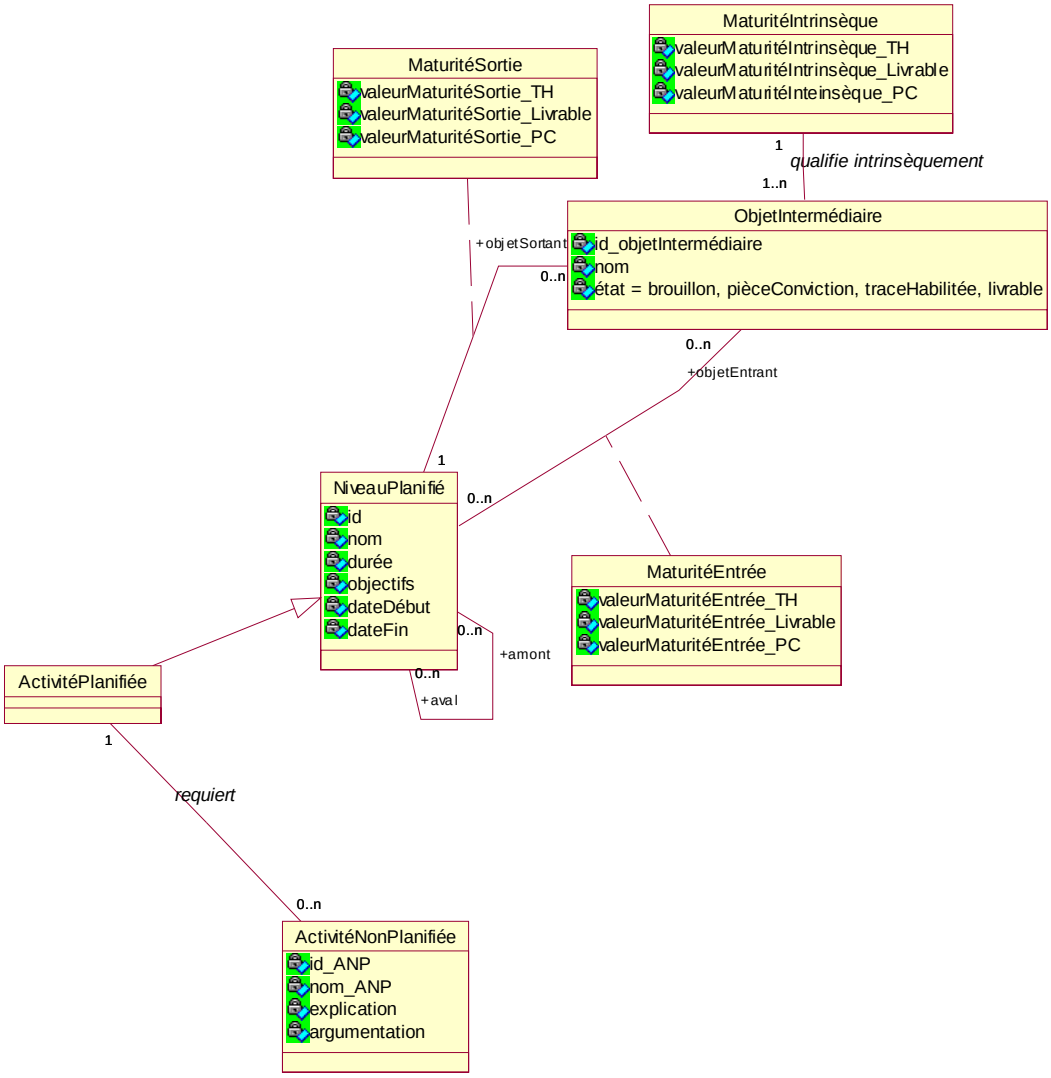


Figure 55 Critères de maturité et état de pièce à conviction d'un objet intermédiaire.

Par conséquent, le système de gestion (niveau prescrit et émergent (§ 5.2)) doit considérer les modes de collaboration (*coordination* et *coopération)* identifiés (§5.3) ainsi que le cycle de vie des objets intermédiaires échangés/partagés pendant une phase de conception. Ceci afin d'assurer la consistance du système et d'assurer une meilleure coordination induisant moins d'itérations supplémentaires dans l'exécution du processus de conception.

5.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons mis en place un modèle de données, un modèle de processus et un modèle de maturité. Nous avons également présenté deux modes d'organisation du

processus : *planifié et non planifié.* Ces derniers correspondent, respectivement aux espaces de travail : *public et projet (planifié) et proximité et privé (non planifié).*

Outre la vision processus, la vision « objet » est importante pour l'analyse du processus de conception collaborative. Ainsi notre tâche, dans ce chapitre, était de caractériser les nformations échangées, c'est-à-dire des objets intermédiaires (OI). Trois dimensions y contribuent pour cela : la *prise* qu'un objet intermédiaire peut offrir aux participants, la *modalité d'action* appliquée par les acteurs sur l'objet intermédiaire et la *maturité* de ce dernier. Toutes ces caractéristiques ne sont pas intrinsèques à l'objet mais dépendants des contextes de la conception. Aussi, ces caractéristiques sont dépendantes les unes des autres. Ces liens ne sont pas forcément explicités pendant le processus de conception. Nous avons donc proposé la mise en évidence du lien entre l'axe de maturité et l'axe des modalités d'action. En effet, un acteur de la conception peut associer à chaque état d'objet intermédiaire (*pièce à conviction, trace habilitée, etc.*), des niveaux de maturité donnés selon la situation de conception dans laquelle il se trouve.

Un niveau de maturité est représenté par les valeurs des trois catégories de critères : *maturité intrinsèque, maturité de sortie et maturité d'entrée*. Le choix de ces catégories se base sur le principe que la qualité de l'information représente un compromis entre son émetteur et son utilisateur (la qualité est définie dans l'interaction). Il est toutefois évident que ce choix n'est pas exhaustif, d'autres catégories peuvent être définies.

L'analyse de ce chapitre nous a révélé plusieurs utilisations pertinentes de la maturité. En effet, l'expression des maturités *attendue* et *cible* permet aux acteurs de visualiser les écarts éventuels entre ces dernières. C'est une façon d'identifier des *objets intermédiaires critiques* dans le processus et de permettre la mise en accord des utilisateurs et des émetteurs sur ces objets et par conséquent la coordination des activités de conception associées. L'état de mise en accord sur les objets échangés est qualifié de *trace habilitée*.

Une deuxième utilisation de la maturité est de guider les acteurs dans leurs coopérations au sein des espaces de proximité. En effet, d'une part, à travers l'évaluation des critères de maturité des *pièces* à conviction, les acteurs peuvent effectuer des choix de conception en tenant en compte des facteurs d'incertitude (maturité intrinsèque et sortie) et d'impact ou d'usage dans le processus (maturité entrée). D'autre part, exprimer les valeurs de maturité associées à l'état de trace habilitée représente une aide à l'organisation locale des activités

non planifiées dans l'espace de proximité. En effet, par exemple, un acteur, en ayant des objectifs en terme de maturité, organise ses activités afin d'atteindre ses objectifs avant la date butoir.

Nous verrons dans les chapitres 6 et 7 que la maturité des objets échangés dans le processus n'est pas le seul moyen de facilitation de la collaboration dans les espaces de proximité et de coordination des activités dans l'espace projet.

Chapitre 6. La maturité pour faciliter la coopération dans les espaces de proximité

Nous avons expliqué dans le chapitre précédent, que pendant le déroulement du processus de conception collaborative, outre l'organisation du processus en activités planifiées, il s'agit d'effectuer des activités non planifiées nécessaires pour la résolution coopérative des problèmes émergents de conception. Il est montré que pour résoudre les problèmes par la coopération, les acteurs doivent, pendant une grande partie de leur temps, se *synchroniser cognitivement* et se *coordonner localement* (cf. §3.1.2).

Dans ce chapitre, nous présentons l'espace de proximité comme l'espace de coopération où les acteurs résolvent leurs problèmes de conception et où les objets intermédiaires et leur maturité sont élaborés et confrontés aux différents points de vue. Nous montrons que cet espace muni de quatre dimensions qui sont : *le processus, les objets intermédiaires, le problème et les acteurs*, permet la facilitation de la coopération. Ces dimensions permettent également une continuité de gestion entre les espaces de proximité (organisation émergente du processus) et les espaces projet (organisation cadrée du processus).

Dans la suite de ce chapitre, nous présentons d'abord les besoins de synchronisation cognitive et d'organisation locale pendant la coopération dans les espaces de proximité (§ 6.1 et §6.2). Nous verrons comment les quatre dimensions (*processus, des objets intermédiaires, problème et acteurs)* peuvent contribuer à la synchronisation cognitive et à l'amélioration de la coordination locale dans l'espace de proximité (§6.3). Nous introduisons, au fur et à mesure le modèle de collaboration associé à l'espace de proximité. Enfin, nous introduisons les principes de la démarche de facilitation de la coopération (§6.4).

6.1 Besoin de synchronisation cognitive

Plusieurs auteurs montrent que les acteurs, dans la coopération, passent la plus grande partie de temps[77] à effectuer des activités de synchronisation cognitive pour arriver à une compréhension partagée de la situation de conception, le reste de la coopération porte sur la

[77] Estimé à plus de 40% du temps alloué à l'activité de conception [Ruiz-Dominguez 05].

proposition, l'évaluation de la solution et sur l'argumentation et l'explicitation des connaissances[78] [Ruiz-Dominguez 05].

Nous rappelons que la synchronisation cognitive se rapporte à toutes les activités qui permettent le partage des connaissances sur la situation de conception (telles que les contraintes), de l'état de la solution, des hypothèses adoptées et des connaissances du domaine technique (telles que les règles techniques). A titre d'illustration du besoin de synchronisation cognitive en situation de coopération, nous rappelons l'exemple d'une réunion qui a eu lieu entre un projeteur GC (Génie Civil) et un projeteur en Contrôle Commande (CC) (cf. §2.2.3). Les acteurs ont passé la plus grande partie du temps alloué à la réunion, à poser, à tour de rôle, des questions concernant les contraintes liées aux boîtiers électriques, à savoir : les dimensions du boîtier, les endroits de passage des câbles, la sécurité, les hypothèses liées aux coûts d'installation du boîtier, etc.

Il a été suggéré qu'une véritable coopération passe d'abord par l'instauration d'un cadre qui permet de réduire les erreurs de compréhension en conception et par conséquent de diminuer le temps et les efforts dédiés à la synchronisation cognitive au profit de la conception à proprement dit [Boujut et al 02] [D'astous et al 04] [Ruiz-Dominguez 05].

Derrière ces propositions, il s'agit de mettre à disposition des acteurs un certain nombre d'informations permettant de mieux comprendre la situation de conception et de mieux se comprendre. Ces informations peuvent porter sur les connaissances disponibles de la conception, les objectifs de performance du processus, le produit (modèles CAO, plans techniques, etc.), le problème (telles que les contraintes), les compétences des acteurs, etc.

6.2 Besoin de coordination locale

La coordination est souvent assimilée à une organisation descendante de l'activité de conception depuis les buts généraux vers les buts particuliers. Cependant, pendant le déroulement du processus de conception, la coordination consiste aussi en une organisation ascendante issue de situations de conception[79] [Darses 97, 01]. Qualifiée de méthode

[78]Il a été observé dans [Ruiz-Dominguez 05] que les situations distribuées et les situations co-localisées de la conception représentent les mêmes catégories d'activités. Néanmoins, la synchronisation cognitive opère plus dans la co-localisation car elle est généralement implicite.

[79]La coopération est une action collective qui consiste à accomplir un travail qu'un acteur seul ne peut effectuer

« d'organisation opportuniste » par Darses ou de « coordination locale » par Boujut [Boujut 01], il s'agit essentiellement de réguler la coopération par les acteurs eux-mêmes.

En effet, nos observations sur le terrain du CIH (cf. §2.2.3) et les recherches menées par d'autres chercheurs [Laureillard 00] [Lécaille 03] montrent que les acteurs fonctionnent en autonomie dans des échanges informels (non planifiés) en mobilisant diverses représentations (objets intermédiaires). Des échanges, des débats ont lieu dans ces espaces d'autonomie. *Par conséquent, une coordination des actions respectives de chacun doit forcément s'organiser. Cette coordination est implicite ; les observations n'ont montré ni planning des activités ni évaluation explicite des coûts et reste interne au groupe de conception* » [Boujut 01].

A l'amélioration de la compréhension en conception on associe l'amélioration de l'organisation locale des interactions au sein d'un groupe de conception. En effet, la compréhension réduit les erreurs de conception et les efforts [Gutwin et Greenberg 02], encore faut-il, au minimum, assister les acteurs dans leurs ajustements locaux, et leurs permettre de solliciter les bonnes personnes et d'intervenir sur les objets aux bons moments. Cette aide à l'organisation locale a pour but de diminuer les itérations de type « churn »[80] et par conséquent, de diminuer les efforts et les délais.

Par ailleurs, nous signalons que ces préoccupations de l'organisation locale au sein des espaces de proximité concernent principalement des équipes de conception de taille importante[81] [David 2001] où les efforts de coordination nécessaires sont importants [Gomes et al. 06]. Ce sont les équipes où une organisation complexe (de nombreux intervenants avec des métiers et des points de vue différents) est nécessaire. Dans les groupes de taille restreinte, on n'a pas besoin d'une organisation pour faciliter l'organisation des contributions au sein du groupe.

Afin de faciliter la synchronisation cognitive et mettre en avant des organisations locales, nous proposons de maintenir les acteurs informés de quatre catégories d'information : *processus, objet intermédiaire, problème et acteur*.

Dans ce qui suit, pour chaque catégorie d'information nous présentons les problèmes traités et montrons les apports pour l'amélioration de la coopération. Nous introduisons, au fur et à mesure la partie du modèle de collaboration associée à chaque catégorie d'information.

[80] Nous rappelons que les itérations émulsifiantes représentent les itérations issues des interactions entre les acteurs de différents métiers pendant une coopération [Bhuiyan et al. 04].
[81] Une taille du groupe de plus de 5 personnes.

6.3 Dimensions supports de la coopération

6.3.1 Avoir une vision du processus

Cette dimension permet d'aboutir à une connaissance commune de la conception en répondant aux questions sur les informations du cadre du projet, les objectifs du projet à atteindre et l'organisation des activités planifiées.

Avoir une connaissance du client, de ses exigences, de la concurrence, des stratégies de l'entreprise, des risques environnementaux, des conditions contractuelles, etc. permet une compréhension du cadre du projet qui contribue à la compréhension de certains choix effectués pendant la conception. Par exemple, s'il est stipulé que l'une des exigences du client est que le contrôle des turbines soit réalisé avec les fournisseurs, les acteurs vont, éventuellement, prévoir des analyses supplémentaires afin de sélectionner le type de turbine en fonction de la chute nette de l'aménagement. La discussion autour de ces analyses aide les acteurs à estimer le contenu et l'organisation de la conception autour des turbines.

Ces informations sont principalement contenues dans des documents *supports* (telles que le contrat avec le client) ou des *représentations* (telles que le cahier des charges) (figure 56).

Connaître les objectifs du projet/processus à atteindre, à savoir le respect du délai, de l'effort et/ou de la qualité (figure 56), permet aux acteurs de l'équipe projet de faire des choix de conception et de décider de l'organisation des coopérations. Par exemple, un projeteur en électromécanique (EM), ayant connaissance de la contrainte du délai (délai très court), peut décider de faire une hypothèse sur l'énergie du site (afin d'estimer la puissance installée) plutôt que de solliciter le travail d'un expert en hydrologie.

Par ailleurs, avoir des informations sur l'organisation du processus en phases et en activités planifiées et leur ordonnancement (figure 56) permet aux acteurs, participants à l'espace de proximité, d'identifier les activités dépendantes de son activité et de savoir quels sont les délais nécessaires pour établir des échanges avec ces dernières, ce qui a une forte influence sur l'organisation du travail au sein de l'espace de proximité.

Savoir aussi quelles sont les stratégies de diffusion[82] (cf. §7.4), les dates de diffusion[83] (cf. §7.5) des objets intermédiaires échangés dans l'espace projet/public ainsi que leurs maturités

[82]Une stratégie de diffusion représente la façon la plus appropriée, d'un point de vue délai et/ou coûts avec laquelle les acteurs devront diffuser les objets intermédiaires dans les espaces de projet et publics (cf. §7.4).

de trace habilitée ou de livrable (figure 56), permet aux acteurs de l'espace de proximité de s'organiser et d'analyser le contenu des objets à diffuser.

Considérons, par exemple, une *stratégie de diffusion itérative* (cf. § 6.4) du « plan d'ensemble des installations hydrauliques » dans l'espace projet, entre un projeteur GC et un projeteur EM, ainsi que les valeurs de la *maturité de trace habilitée* associées. Le projeteur EM convient avec le projeteur GC que le plan doit contenir au moins les informations sur la hauteur de chute et sur les dimensions de l'usine avant sa première diffusion dans l'espace projet.

A travers la dimension « processus », notamment les informations sur les maturités objectives (livrables et traces habilitées), les participants à l'espace de proximité, disposent d'un support d'aide à leurs coopérations. Plus intéressant encore est que ces informations permettent une continuité entre l'élaboration des solutions de conception et la coordination du processus dans les espaces de travail projet et public.

[83] Par dates de diffusion d'un objet intermédiaire, nous entendons la période de temps pendant laquelle l'objet peut être échangé entre deux activités planifiées. Cette période de temps est cohérente avec les objectifs fixés de délais et/ou de coûts, etc. (cf. §7.5).

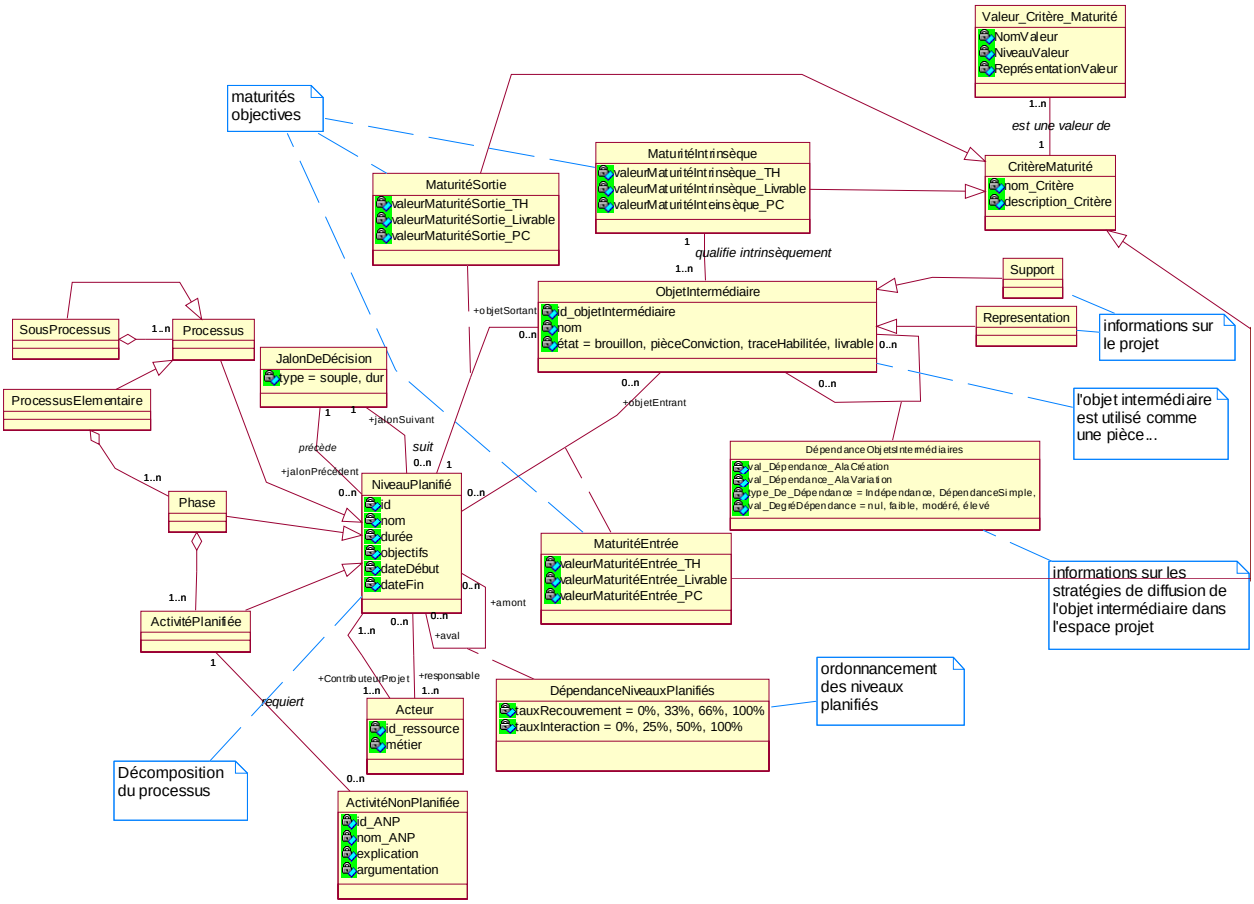


Figure 56 la dimension « Processus » support de la coopération dans l'espace de proximité

Nous signalons que les classes association *« DépendanceActivitéesPlanifiées »* et *« DépendanceObjetsIntermédiaires »* de la figure 56 ci-dessus, constituent les informations nécessaires pour l'ordonnancement des activités planifiées et la diffusion des objets intermédiaires dans l'espace projet, respectivement. Ces classes vont être explicitées dans le chapitre 7 suivant (cf. §7.4 et §7.5).

6.3.2 Identifier les acteurs

Cette dimension de la conception permet de maintenir une connaissance commune sur les acteurs contributeurs à la conception. Cela en répondant aux questions : Quelles sont les compétences requises pour la résolution du problème posé dans l'espace de proximité ? Qui a ces compétences? Quelles sont les disponibilités ? Quels sont les rôles joués par les acteurs dans le projet ?

La réponse aux trois premières questions renseigne sur le type de compétence[84] ou de savoir faire requis pour la résolution du problème posé, sur les acteurs ayant ces compétences ainsi que sur leurs disponibilités. Cela suppose qu'il soit possible d'identifier, de représenter et d'utiliser les compétences à partir des connaissances disponibles sur les acteurs de l'entreprise[85].

La réponse à la dernière question ci-dessus, nous informe sur les rôles joués par les acteurs dans le projet : s'agit-il d'un rôle *temporaire* joué pendant la période d'ouverture de l'espace de proximité ou s'agit-il d'un rôle *permanent* joué pendant la période du projet de conception ? Ce qui revient à identifier les rôles suivants :

- L'i*nitiateur* de l'espace de proximité ou l'*hôte* (figure 57) : c'est un rôle *temporaire* joué par l'acteur qui identifie le problème. L'initiateur est celui qui ouvre l'espace de proximité pour y exposer le problème. L'ouverture de l'espace de proximité est initiée par la création d'une première activité non planifiée (figure 57). Ce rôle est interne au réseau personnel d'acteurs de l'espace de proximité, il dure le temps que l'espace de proximité est ouvert.

- L'*expert invité* (figure 57) est un rôle *temporaire* joué par l'acteur contributeur à l'espace de proximité qui a des connaissances et une expérience dans le domaine technique ou le type de problème posé. Il est sollicité pour évaluer et/ou valider des solutions de conception dans l'espace de proximité.

- *Le contributeur de l'équipe projet invité* (figure 57) : C'est un rôle *temporaire* joué par un membre de l'équipe projet. Celui-ci peut être sollicité dans l'espace de proximité car il est impliqué dans le problème posé. Ce rôle, joué par l'acteur de l'équipe projet invité dans l'espace de proximité, est essentiellement celui de l'utilisateur ou du producteur d'objets intermédiaires mobilisés dans l'espace.

- Le *contributeur projet* (figure 57) : c'est un rôle permanent joué par un acteur faisant partie de l'équipe projet (le chef de projet et les contributeurs métiers), ou par un membre de la hiérarchie de l'entreprise (chef de service, chef de département, etc.) ou par le client, etc.

[84] D'après Millet [Millet et al.06] la compétence est les savoirs faire permettant d'agir et/ou de résoudre des problèmes professionnels de manière satisfaisante dans un contexte particulier en mobilisant diverses capacités de manière intégrée.

[85] La recherche des démarches de définition, de représentation et d'utilisation de la compétence ne s'inscrit pas dans la présente thèse.

Les informations « acteur » permettent aux initiateurs de l'espace de proximité d'organiser les contributions dans l'espace en faisant intervenir des compétences et des acteurs adéquats pour la résolution des problèmes de conception soulevés. Plus le choix des acteurs est pertinent, plus les contributions vont être riches, c'est-à-dire, qu'elles vont aborder le plus de contraintes et de points de vue sur le problème soulevé.

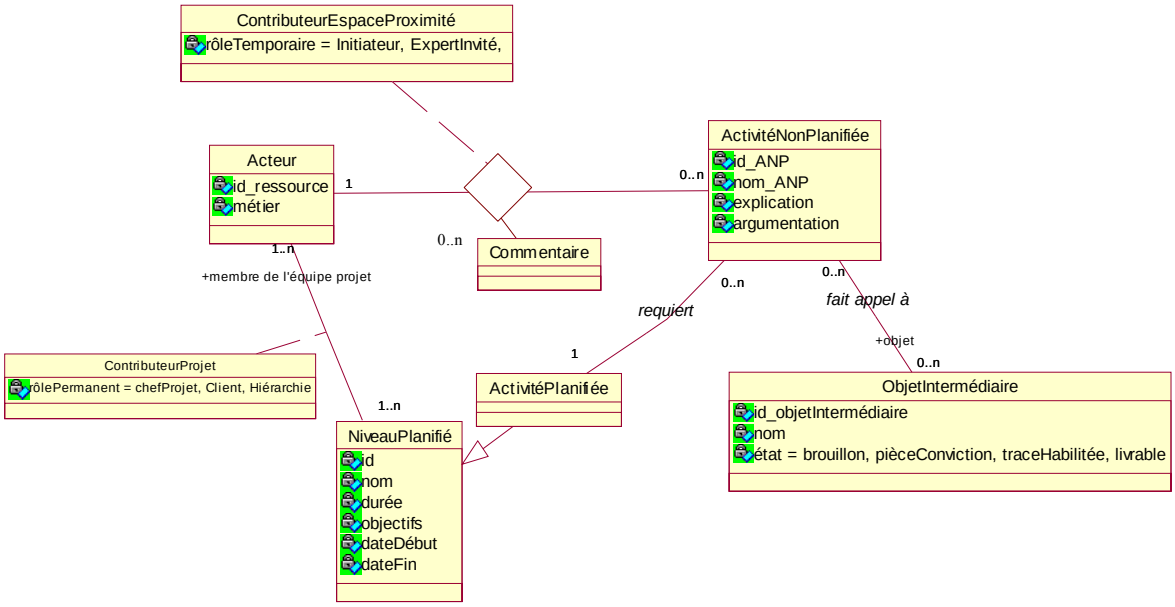


Figure 57 la dimension « Acteur » support de la coopération dans l'espace de proximité

6.3.3 Situer le problème de conception

Cette dimension de la conception permet de maintenir une connaissance commune sur le contenu du problème de conception émergent. Cela en répondant aux questions : Quelles sont les variables de conception ? Quelles sont les contraintes techniques ? Quelles sont les contraintes client ? Quels sont les risques encourus ? Quelles sont les contraintes internes[86] ?

Un exemple de problème en conception hydroélectrique peut correspondre à la situation illustrée par la figure 58 ci-dessous. Le projeteur EM, dans son activité de définition des installations dans l'usine, rencontre un problème sur l'orientation de l'arrivée des conduites forcées dans l'usine. Il indique que l'orientation des conduites doit être de biais par rapport à l'usine afin d'éviter les failles existantes. L'orientation des conduites contraint les dimensions

[86] Par contraintes internes, on entend les ressources internes à l'entreprise, les technologies disponibles dans l'entreprise, etc.

de l'usine, la disposition des machines dans l'usine (figure 58) ainsi que la résistance de la structure de l'usine.

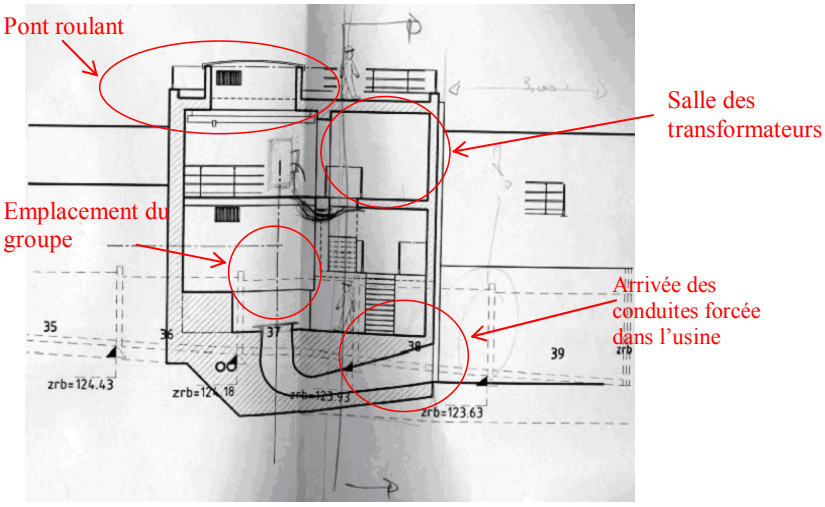


Figure 58 Exemple de problème de conception illustré par une coupe transversale d'une usine hydroélectrique.

De cet exemple, on peut identifier un certain nombre de variables de conception, telles que l'orientation de l'arrivée des conduites forcées, des contraintes comme les failles et la résistance de la structure, et des paramètres de conception (qui ne sont pas explicités dans l'exemple) importants dans la décision sur l'orientation de l'arrivée des conduites, par exemple la hauteur de chute.

Cependant, la confrontation de ces informations à d'autres points de vue (exemple, le génie civil) montre que ce qui peut être une variable pour un acteur peut être une contrainte pour un autre. Par exemple, l'orientation des conduites qui est une variable pour le projeteur EM devient une contrainte pour le projeteur GC pour le dimensionnement de l'usine. Ces différences de points de vue permettent la confrontation et l'avancement de la conception. Ce qui est important est que chaque acteur de l'espace de proximité puisse identifier des variables, des contraintes et des paramètres de conception[87] selon son point de vue, et puisse les partager avec les autres acteurs.

[87] Nous rappelons que le rôle de paramètre de conception est joué par un objet intermédiaire qui représente aussi une contrainte mais qui est partagées par tous les acteurs et qui influence fortement les décisions dans la conception.

La dimension « problème » représente l'élément déclencheur des coopérations entre les acteurs de conception. Suite à l'émergence d'un problème, un acteur du projet (participant à une activité planifiée) ouvre un espace de proximité et invite des participants (figure 59). A l'ouverture de l'espace de proximité, l'initiateur déclenche le processus de résolution du problème par la création d'une activité non planifiée (figure 59). Cette dernière a comme attributs : le nom du problème, l'explication et l'argumentation de ce dernier. Il s'agit d'abord d'expliquer le problème en explicitant les variables, les contraintes et les paramètres de conception[88]. Chaque invité de l'espace de proximité contribue à la résolution du problème en répondant au problème posé. Cette réponse peut représenter un commentaire ou une activité non planifiée qui peut porter sur une *contre argumentation* (l'exposé d'un autre problème lié au problème posé) ou une *proposition* de solution du problème posé ou une *pro argumentation* du problème posé (figure 59). Ce qui différencie une activité non planifiée d'un simple commentaire est le recours aux objets intermédiaires comme pièces à conviction aux propositions ou pro argumentations, etc. (figure 59). L'espace de proximité à travers la dimension problème permet de situer le problème de conception mais aussi de lier les objets intermédiaires associés (figure 59).

[88] Nous avons fait le choix de représenter les paramètres de conception comme une sous classe de la classe « ObjetIntermédiaire » mais pas les contraintes et les variables car ces dernières dépendent du point de vue de l'acteur qui les exprime.

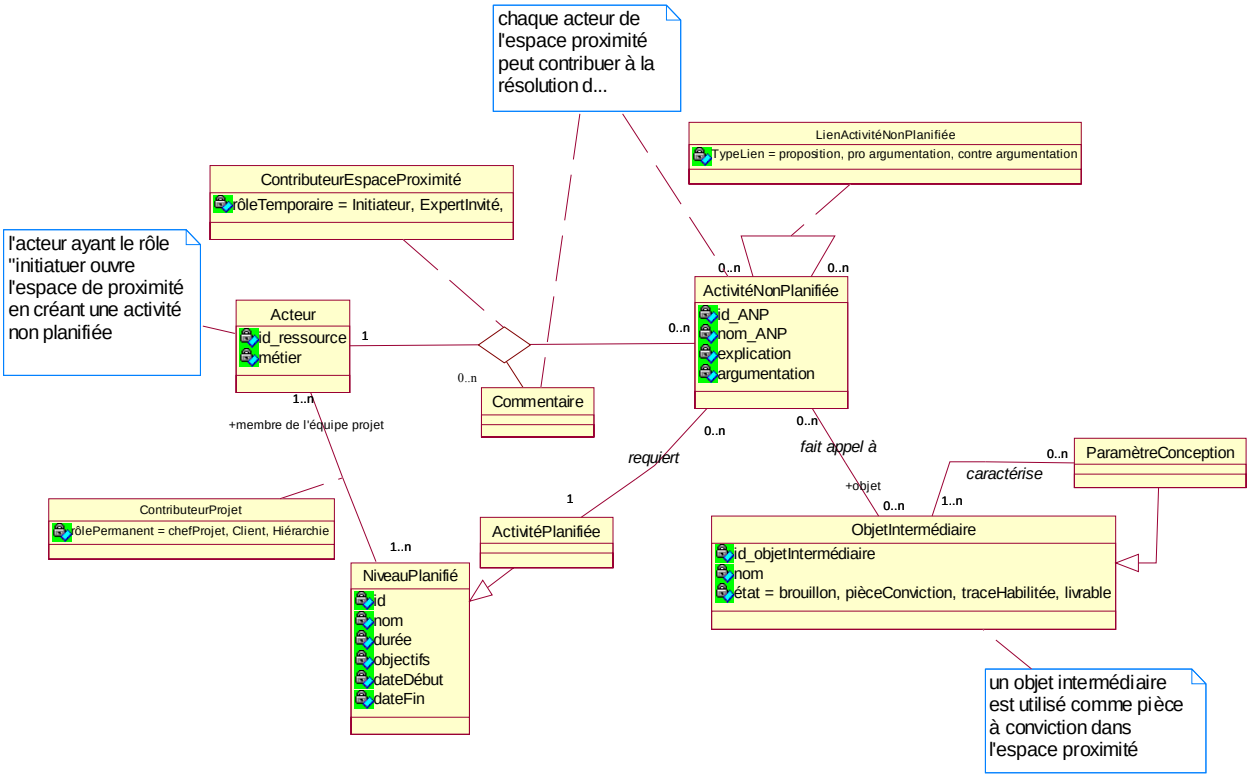


Figure 59 La dimension "Problème" support de la coopération dans l'espace de proximité

6.3.4 Caractérisation des objets intermédiaires

Cette dimension permet de maintenir une connaissance commune du contenu des échanges entre les activités de conception. Autrement dit, il s'agit de diffuser des informations pertinentes sur les objets intermédiaires, telles que le type d'objet intermédiaire (nomenclature, document, etc.), leur rôle dans la conception (paramètre de conception), les valeurs des critères de maturité (maturité en entrée, en sortie ou intrinsèque) et les modalités d'action appliquées sur l'objet (à travers les états de l'objet : brouillon, pièce à conviction, trace habilitée, etc.).

En effet, qu'il s'agisse de paramètres de conception (exemple : hauteur de chute), de nomenclature (exemples : usine, turbine, etc.), de représentation (exemple : section longitudinale d'une usine) ou de support (exemple : norme technique), les acteurs ne mobilisent pas les mêmes objets intermédiaires et par conséquent n'appréhendent pas de la même façon son estimation/modification ou la qualification de sa maturité. Si l'objet intermédiaire joue le rôle de paramètre de conception, les acteurs vont être attentifs à ses variations et à son impact dans le processus. Estimer le paramètre de conception ou qualifier

sa maturité peut faire appel à l'organisation de plusieurs coopérations intégrant des points de vue diversifiés pour permettre la prise en compte d'un maximum de contraintes.

Les valeurs des critères de maturité de sortie, intrinsèque et d'entrée, renseignent les acteurs sur la qualité de l'information mais surtout sur sa qualification par son fournisseur et par ses utilisateurs. Ces informations permettent une compréhension de l'état d'avancement de l'objet (doit-il changer encore ? pourquoi ? quand ? est-il abstrait ? imprécis ? ou manque t-il de détails ?) et par conséquent de la conception. Les valeurs de maturité représentent un moyen de mesure de la criticité de l'objet intermédiaire dans le processus. En effet, à travers les valeurs de la maturité d'entrée, l'utilisateur de l'objet intermédiaire, à la vue des valeurs de maturités intrinsèque et de sortie, évalue la maturité d'entrée par rapport à son activité planifiée.

La diffusion des objets intermédiaires ainsi que leurs valeurs de maturité dans l'espace de proximité rend visible certains problèmes de conception. Par exemple, le projeteur EM (électromécanique) s'est rendu compte que l'orientation de l'arrivée des conduites forcées ne lui permettait pas un emplacement possible du pont roulant[89] (figure 58 ci-dessus). Dans un premier temps, le projeteur EM diffuse la coupe transversale de l'usine dans l'espace de proximité comme une pièce à conviction du problème identifié. Cette diffusion incite le projeteur GC (génie civil) à évaluer l'impact de l'arrivée des conduites sur ses activités de conception, notamment sur l'évaluation de la largeur de l'usine, la résistance de l'usine, etc. Si une grande sensibilité est décelée par le projeteur GC, ce dernier peut répondre au premier problème (exposé par le projeteur EM) par un nouveau problème, et ainsi de suite.

Aussi, l'état d'un objet (brouillon, pièce à conviction, trace habilitée, etc.) renseigne les acteurs de l'espace de proximité, sur les modalités d'action appliquées sur l'objet (création, vérification, validation, etc.). Ce qui représente une information sur le contexte dans lequel est mobilisé l'objet et permet de comprendre l'implication actuelle de l'objet dans la conception.

Par exemple, l'exposition du problème sur la distance entre la turbine et la salle de transformateur sur une coupe transversale d'une usine (figure 58 ci-dessus), pousse le projeteur EM à mobiliser un des objets intermédiaires pour vérifier les contraintes génie civil ou électromécaniques liées à l'orientation et au positionnement des turbines dans l'usine.

[89] Un pont roulant est une installation mobile qui permet le soulèvement et le déplacement des installations dans l'usine pendant les opérations d'installation ou de maintenance.

Dans cet exemple de la figure 58, les acteurs utilisent, par exemple, une vue en long de l'usine en état de trace habilitée. L'état de cet objet révèle un certain gel de décision sur les informations qui le contiennent et des changements qui peuvent impliquer des itérations d'activités planifiées dans le processus.

La dimension « objet intermédiaire » apporte une connaissance sur l'état d'avancement de la conception, c'est à dire sur le rôle des objets intermédiaires mobilisés dans le problème de conception (exemple : le rôle de paramètre de conception) (figure 60), sur leurs implications actuelles dans la conception (les modalités d'action à travers les états d'objets) (figure 60), sur leurs évolutions et leurs impacts sur le processus de conception (à travers les maturités de sortie et d'entrée) (figure 60). A travers les états et les valeurs de maturité associées, la dimension « objet intermédiaire » permet aussi de rendre visible certains problèmes de conception et de les intégrer dans la résolution du problème soulevé dans l'espace de proximité.

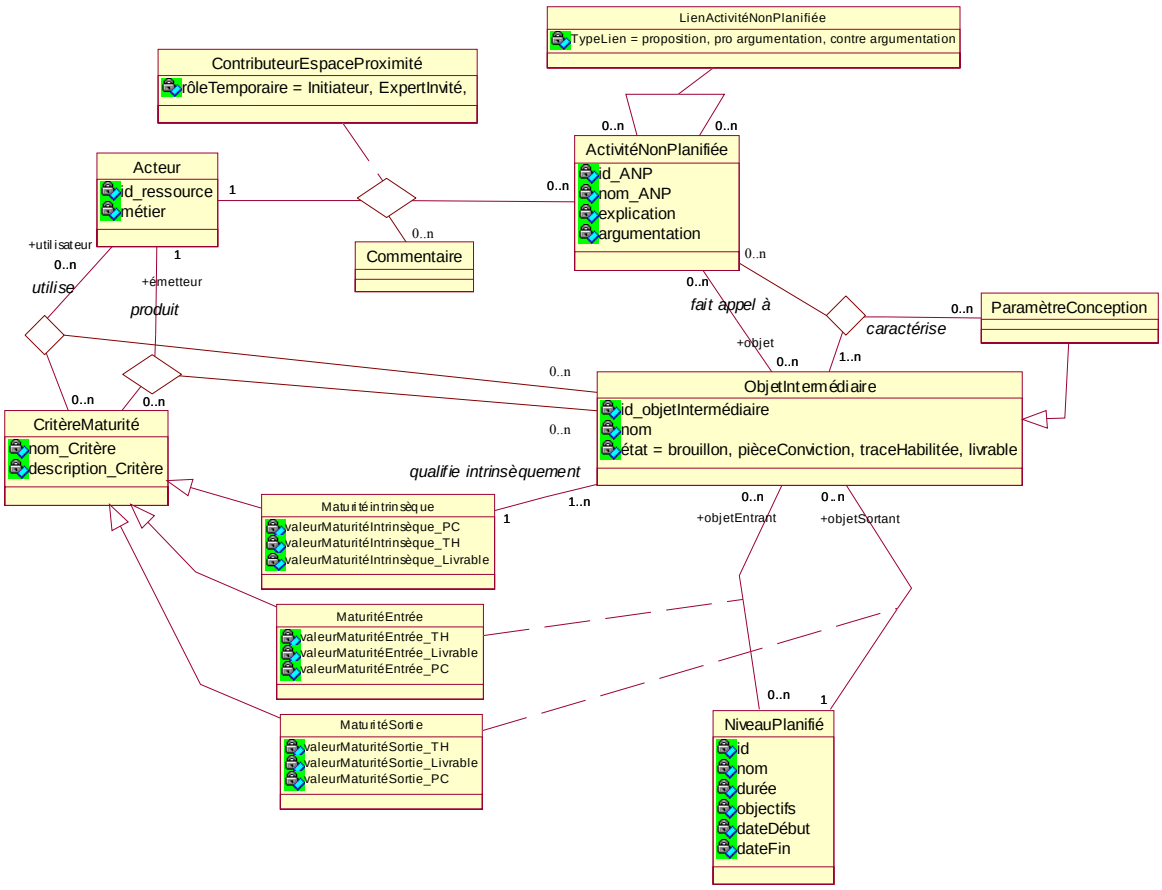


Figure 60 la dimension « Objet Intermédiaire » support de la coopération

6.4 Modélisation de l'environnement collaboratif

Dans cette partie nous synthétisons l'environnement collaboratif formalisant l'ensemble des quatre dimensions contribuant à la facilitation de la coopération dans l'espace de proximité. Pour ce faire, nous présentons le méta modèle de la figure 61. Ce diagramme de classe UML montre comment les différentes dimensions sont représentées et liées.

La dimension « processus » correspond à la classe *NiveauPlanifié* (et ses sous classes) qui représente la décomposition du processus en phases et en activités planifiées, et à la classe association entre deux niveaux planifiés qui englobe les informations sur les taux de recouvrement (*TauxRecouvrement*) et les taux d'interaction entre les acteurs de métier différents (*TauxInteraction*) (figure 61). La dimension processus est aussi représentée à travers les livrables et les traces habilitées (les objets de la classe *« ObjetIntermédiaire »* en états de livrable ou de trace habilitée).

La dimension « acteur » est représentée par la classe « *Acteur »* à travers les attributs : nom de l'acteur, son métier, ses coordonnées et la classe association *« ContributeurEspaceProximité »* entre les classes *« Acteur »* et *« ActivitéNonPlanifiée »* qui correspond aux différents rôles temporaires joués dans l'espace de proximité, et par la classe association *« ContributeurProjet »* qui représente les rôles permanents participants aux espaces projet et public.

La dimension « objet intermédiaire » est représentée par la classe *« ObjetIntermédiaire »* à travers ses attributs, notamment l'attribut *état* (brouillon, pièce à conviction, trace habilitée, etc.) et par la classe *« CritèreMaturité »* qui est une classe générique désignant l'ensemble des critères de caractérisation de la maturité d'un objet intermédiaire, à savoir les classes : *« MaturitéEntrée », « MaturitéSortie » et « MaturitéIntrinsèque ».*

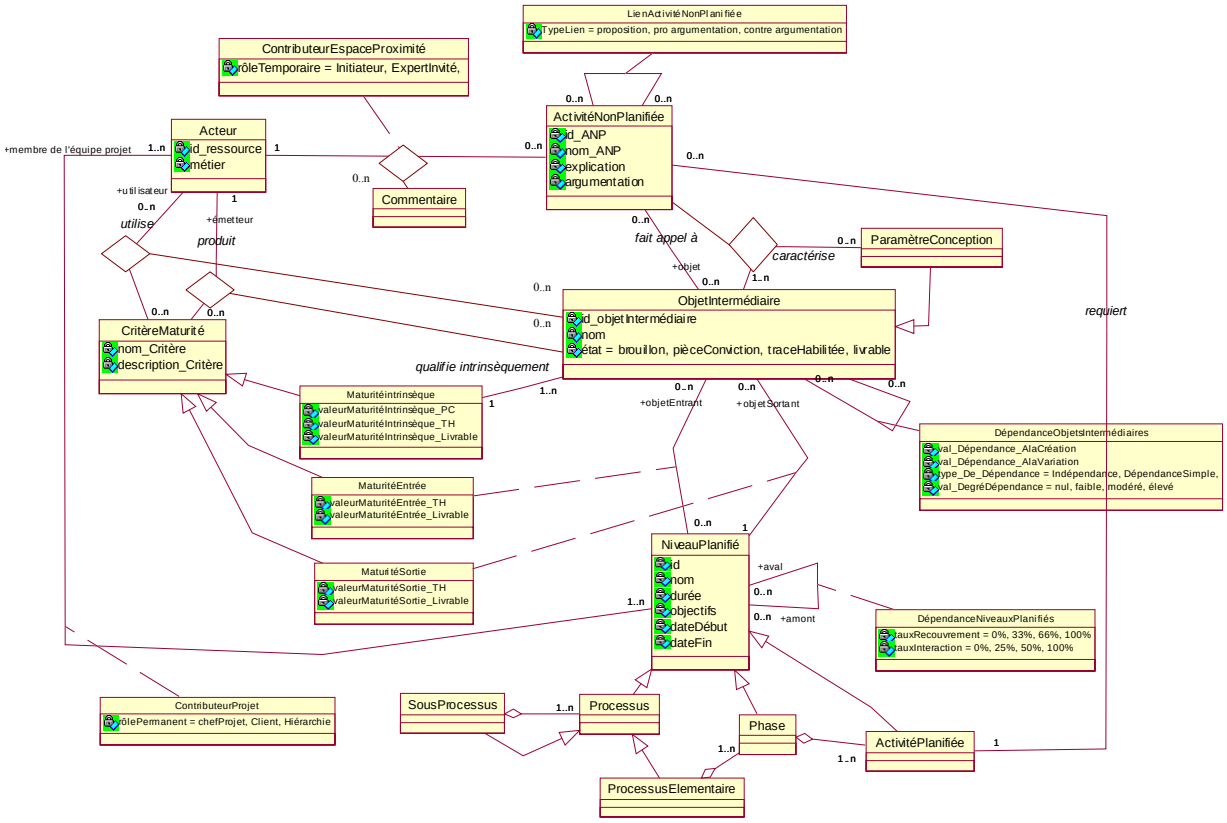


Figure 61 le modèle de l'environnement collaboratif

La dimension « problème » est représentée par la classe *ActivitéNonPlanifiée* via les attributs : *nom*, *explicitation* et *argumentation*. Ces derniers englobent l'ensemble des informations concernant les hypothèses de conception, les variables, les contraintes, etc. La vision problème est aussi représentée par la classe association *« DépendanceActivitéeNonPlanifiée »* entre deux activités non planifiées. Cette classe désigne le type de proposition faite par un acteur à travers l'activité non planifiée ; s'agit-il d'une *proposition* de solution, d'une *contre argumentation* ou d'une *pro argumentation*. Le problème faisant intervenir des objets intermédiaires et vice versa, la classe *« ObjetIntermédiaire »* à travers l'association *« fait appel à »* représente aussi la dimension problème.

Ces différentes dimensions sont évidemment reliées les unes aux autres. L'utilisation des informations d'une dimension fait appel aux informations d'une autre dimension. Par exemple, les dimensions « Processus » et « Acteur » sont reliées par le fait qu'un acteur peut être de l'équipe projet. Cela se traduit par l'association *« contribue à »* entre la classe *« NiveauPlanifié »* et la classe *« Acteur »*. Le lien entre la dimension « Acteur » et la

dimension « Problème » est représenté par le fait que les acteurs participants à l'espace de proximité sont des acteurs jouant des rôles donnés (initiateur, expert invité, etc.). Le lien entre la dimension « Processus » et la dimension « Problème », est représenté par le fait que l'exécution d'une activité planifiée fait émerger des problèmes de conception et par conséquent requiert l'ouverture d'un espace de proximité. L'ouverture de cet espace peut se faire suite aux traitements/modifications effectués sur un objet intermédiaire en état de trace habilitée ou de livrable dans le processus planifié. Ainsi les liens entre les dimensions « Processus » et « Problème » se traduisent par l'association *« requiert »* entre la classe *« ActivitéPlanifiée »* et la classe *« ActivtiéNonPlanifiée »* et l'association *« fait appel à » entre* les classes *« ObjetIntermédiaire »* et *« ActivitéNonPlanifiée ».*

Enfin les liens entre la dimension « objet intermédiaire » et les autres dimensions se traduisent par les faits suivants :

- Un objet intermédiaire peut faire émerger un problème et fait appel à l'ouverture d'un espace de proximité (lien entre les dimensions « objet intermédiaire » et « problème » via l'association *« fait appel à »* entre les classes *« ObjetIntermédiaire »* et *« ActivitéNonPlanifiée »*).
- L'objet intermédiaire peut jouer le rôle de paramètre de conception durant la résolution d'un problème dans l'espace de proximité et caractériser d'autres objets intermédiaires (lien entre les dimensions « Objet intermédiaire » et « Problème » via l'association ternaire *« caractérise »* entre les classes *« ParamètreConception », « Objetntermédiaire »* et *« ActivitéNonPlanifiée »*).
- Un objet intermédiaire peut être échangé entre des sous processus, des phases et/ou des activités planifiées en tant que livrable ou trace habilitée (lien entre les dimensions « Objet intermédiaire » et « Processus » via les associations *« objetEntrant »* et *« objetSortant »* entre les classes *« NiveauPlanifié »* et *« ObjetIntermédiaire »*).
- Un objet intermédiaire est également utilisé et produit par des acteurs de l'équipe projet. Ce qui représente le lien entre les dimensions « Objet intermédiaire » et « Acteur » via les associations *« utilise »* et *« produit »* entre les classes *« ObjetIntermédiaire »* et *« Acteur »*).
- Le lien entre les dimensions « Acteur » et « Objet intermédiaire » est aussi traduit par le fait que la maturité d'un objet intermédiaire est qualifiée par un acteur via la ternaire *« qualifié par »* entre les classes *« Acteur », « ObjetIntermédiaire »* et *« CritèreMaturité ».*

6.5 Principes de la démarche de facilitation de la coopération

La majorité des démarches supports de la coopération (cf. §3.3) proposent une co-construction de connaissances entre les acteurs de la conception participants à la coopération. Ces approches se basent sur un processus d'apprentissage opérant pendant la conception et par le biais de représentation de connaissances (logique de conception), de modèle de coordination (conscience de groupe), etc. La compréhension commune de la conception est supposée se réaliser par la confrontation des arguments des uns et des autres, par les réponses aux questions posées, par l'exploration et l'approfondissement des choix, par un système de maintient des informations sur les actions effectuées par chaque participant, etc. Encore faut-il que les acteurs soient prédisposés à se comprendre mutuellement c'est-à-dire à partager une compréhension des contraintes, des paramètres de conception, des hypothèses adoptées, des buts du projet, des règles techniques, des procédures de résolution, etc. Les espaces de proximité doivent être des supports de ces échanges.

Notre critique principale concernant les démarches supports à la coopération proposées dans la littérature, est que la maturité des informations manque aux informations maintenues. Il arrive, par exemple, que la source du problème soit liée au manque de maturité (incertitude et/ou usage) sur un élément donné de la solution. Pour tenter d'atteindre un objectif ambitieux, les acteurs de la conception abandonnent souvent une solution moyenne mais sûre pour une solution techniquement plus séduisante mais moins connue (immature) et donc plus risquée [Midler 1993].

Ce que nous proposons dans ce travail, est de mettre à disposition des acteurs de l'espace de proximité les quatre dimensions d'information ci-dessus, notamment la maturité, comme moyens d'aide à la coopération (la synchronisation cognitive et l'organisation locale).

Dans le paragraphe suivant, nous présentons un scénario de coopération supportée par les dimensions : processus, problème, acteur et objet intermédiaire. Ce scénario correspond à un problème réel de conception qui s'est déroulée au centre d'ingénierie hydraulique CIH (cf. §2.2.3).

6.5.1 Scénario de coopération

Pour des raisons de simplification, nous avons choisi la représentation de l'espace de proximité de la figure 62. Une représentation plus élaborée de l'espace de proximité est présentée dans le chapitre 8 (cf. §8.1.4).

L'exemple de la figure 62 porte sur l'exposition d'un problème auquel fait face un projeteur EM1. Ce dernier ouvre un espace de proximité et initie le problème via une activité non planifiée 1. Une activité non planifiée se constitue de toute ou partie des rubriques : nom, explication, argumentation et objets intermédiaires impliqués.

L'acteur EM 1, disposant des informations de type « Acteur » et « Processus », invite d'autres acteurs dans l'espace de proximité (les projeteurs EM 2, EM 3 et CG 1 dans la figure 62). Ces derniers, après analyse des informations exposées par l'initiateur, interagissent en proposant une solution et/ou une contre argumentation, une pro argumentation, etc. Par exemple, une fois le problème sur l'orientation des conduites exposé par le projeteur EM 1, ce dernier après analyse des différentes possibilités d'orientation des conduites sur la coupe transversale de l'usine, propose (à travers l'activité non planifiée 2) une solution qui est d'orienter l'arrivée des conduites à 43°. Il argumente son choix par la taille importante des failles géologiques. Il associe à sa proposition la carte géologique (objet intermédiaire) de l'endroit où devraient passer les conduites ainsi que sa maturité en cours (*imprécis et stable*). Chacun des utilisateurs de l'objet aura, par exemple, à évaluer la sensibilité de son activité planifiée (s'ils sont membres de l'équipe projet) par rapport aux variations (maturité de sortie) de la carte géologique. Les critères de maturité, variation et précision, constituent un argument (parmi d'autres) que le projeteur EM2 propose aux autres acteurs pour justifier la fiabilité des données sur lesquelles repose sa solution.

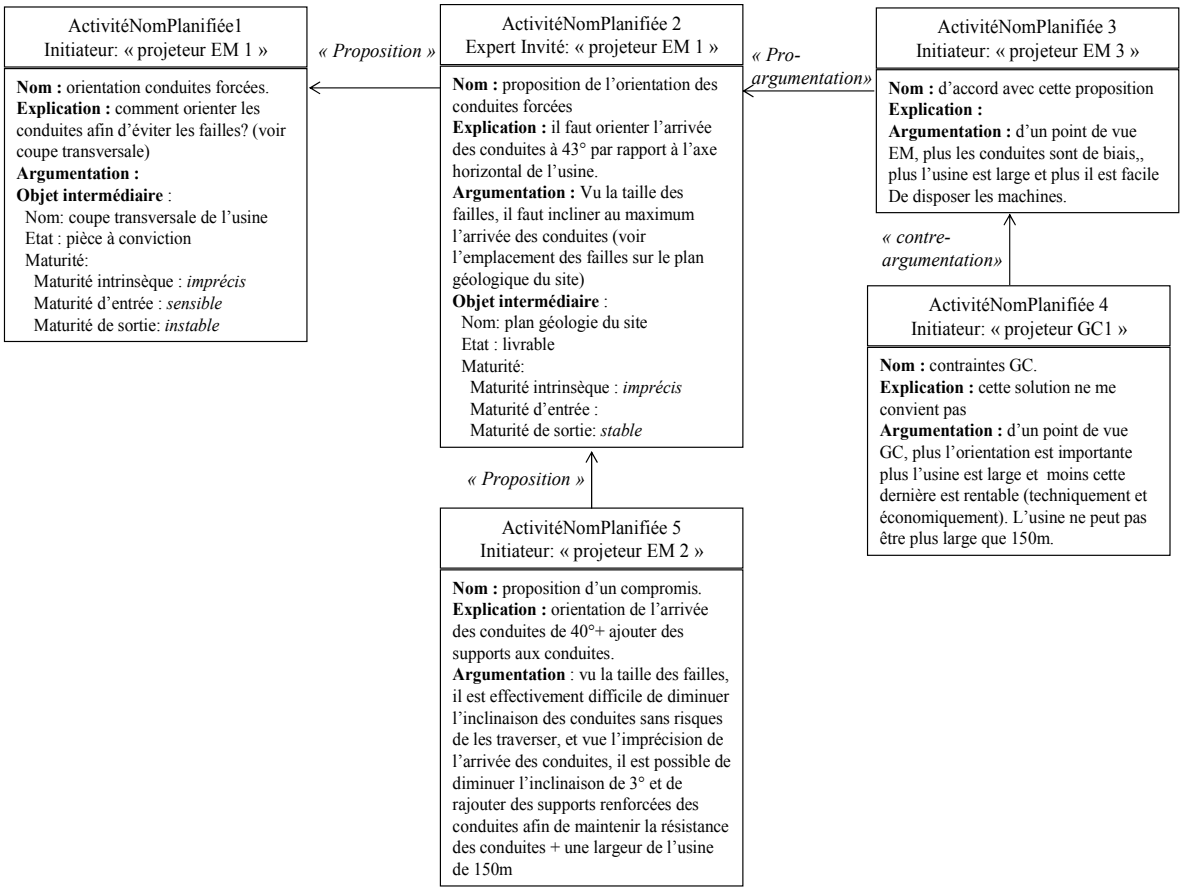


Figure 62 Exemple d'un espace de proximité

A cette proposition, le projeteur EM 3 répond par une *« pro argumentation »* en précisant que la solution 1 (proposé par l'acteur EM 2) est cohérente avec les contraintes de dimensionnement des installations et de leur positionnement dans l'usine. Cependant le projeteur GC 1 émet une *« contre argumentation »* et rejette la solution 1. Il pose également un autre problème concernant les dimensions de l'usine. Son contre argument porte sur le fait qu'une largeur de l'usine importante (>150 m) implique une usine non rentable (engendrant un coût de béton élevé et une résistance de la structure faible). Finalement, le projeteur EM 1, après consultation de la coupe transversale de l'usine, du plan géologique et d'autres dossiers de projets antérieurs, propose une solution 2 qui intègre les contraintes soulevées par les projeteurs EM 1 et GC 1. La solution 2 consiste à diminuer l'orientation des conduites de 2° afin d'éviter les problèmes de surdimensionnement de l'usine et de rajouter des supports renforcées aux conduites pour maintenir la résistance de ces dernières.

Si on analyse l'exemple de la figure ci-dessus, on remarque que la dimension « Acteur » apparaît à travers les différents rôles que les acteurs se voient attribuer pendant la résolution

du problème. Le rôle temporaire d'initiateur est joué par le projeteur EM 1 qui expose le problème posé et invite d'autres acteurs (de son réseau personnel) pour contribuer à la résolution du problème. Ces derniers sont des acteurs *contributeurs du projet* (les projeteurs EM 3 et GC 1) et un *expert invité* (le projeteur EM 2).

Au début de la coopération, l'acteur initiateur de l'espace informé du contexte de chaque acteur, de leurs compétences et de leurs besoins (dimension « Processus »), invite les acteurs qu'il juge adéquats pour la résolution de son problème.

La dimension « Objet intermédiaire » apparaît à travers les valeurs des paramètres de conception (dimensions de l'usine, inclinaison des conduite, etc.), des représentations (plan géologique, coupe transversale de l'usine) appartenant à différentes rubriques d'une activité non planifiée mais aussi à travers les maturités de ces derniers. En effet, associés aux argumentations et aux clarifications, les maturités constituent des critères de choix parmi les solutions proposées. La maturité du plan de la géologie du site a permis au projeteur EM 1 de justifier la fiabilité des données géologiques. La maturité a aussi permis aux acteurs participant au projet d'évaluer l'impact des choix proposés par rapport à leurs activités respectives et de valider/refuser les propositions. Par exemple, le projeteur EM 2, en ayant la maturité de l'arrivée des conduites (diffusée par le projeteur EM 1), évalue l'impact de l'inclinaison de 2° sur l'encombrement des machines dans l'usine et décide de proposer la solution 2. Au contraire, si un acteur est fournisseur d'un objet intermédiaire, il peut proposer une estimation de la maturité de sortie et intrinsèque (par exemple, la stabilité et la précision).

La dimension « Problème » apparaît à travers les variables de conception, les contraintes discutées, les risques encourus, etc. Comme il est souligné auparavant, cette dimension est associée à la dimension « objet intermédiaire » dans le sens où on peut, par exemple, exprimer des hypothèses ou des contraintes sur des paramètres de conception, c'est le cas, par exemple, de la contrainte sur la largeur de l'usine (<150m) (figure 62). On peut également constater que la dimension problème est relative à celui qui l'expose. Les mêmes informations (variables et contraintes) qui constituent un problème pour un acteur, peuvent paraître des informations de solution pour un autre acteur. C'est le cas, dans l'itération 4 où l'inclinaison des conduites forcées constitue une variable et donc un élément de problème pour le projeteur GC1 alors qu'elle est considérée comme un élément de solution par le projeteur EM2 dans l'itération 2.

La dimension « Processus » n'apparaît pas explicitement dans l'exemple de la figure 62 mais pourrait faire partie des éléments des rubriques des activités non planifiées. En effet, des informations sur le cadre du projet (budget du projet, besoins client, conditions contractuelles, etc.), sur les objectifs du projet (quels sont les objectifs visés : délai ? coût ? qualité ?), l'organisation des activités (les objectifs opérationnels à atteindre, les dépendances entre les activités, les stratégies de diffusion, les maturités des livrables et des traces habilitées, etc.) peuvent influencer à la fois le contenu de la conception collaborative mais aussi l'organisation de cette dernière.

Par exemple, la connaissance des stratégies et des dates de diffusion du plan *« coupe transversale de l'usine »* (par exemple, un délai de deux jours et une stratégie de diffusion itérative) dans l'espace projet, peut inciter l'acteur initiateur de la figure 62, à choisir les intervenants dans l'espace et à fixer une période pour la discussion de l'orientation des conduites forcées. Ce qui a été fait par l'invitation des projeteurs EM 2, EM 3 et GC 1. L'ensemble des intervenants pourrait réguler leurs interventions en fonction de cette période et des contraintes techniques. Par exemple, étant donnée la courte période d'intervention (deux jours), les projeteurs décident de discuter d'abord l'arrivée des conduites, ensuite l'encombrement, etc. dans cet ordre car ces derniers constituent des paramètres de conception critiques. Aussi savoir les maturités de livrable et de trace habilitée associées aux objets intermédiaires échangés dans les espaces projet et public, peut inciter les intervenants de l'espace de proximité à réaliser certaines tâches, à consulter certains experts, etc.

En résumé, à chaque fois qu'un problème apparaît et qu'un acteur du projet requiert l'aide d'autres acteurs de son réseau personnel, l'initiateur du problème ouvre un espace de proximité qui est un espace partagé. Chaque acteur participe à l'espace via une activité non planifiée. Ce sont les différentes dimensions de facilitation de la coopération (acteur, problème, objet intermédiaire et processus) qui permettent aux acteurs d'analyser la situation de conception, de traiter le problème (ou une partie du problème), de proposer une solution alternative ou appuyer/rejeter la solution proposée, de répondre à une question, d'approfondir une piste de réflexion, etc. La convergence vers une solution de conception doit être assistée par une coordination locale des interventions.

6.6. Conclusion

Ce chapitre représente une piste de réflexion sur les moyens à mettre en oeuvre pour faciliter la coopération dans les espaces de proximité en se basant sur des principes tels que la qualification des informations. Pour ce faire il est essentiel que les acteurs puissent se comprendre mutuellement et comprendre la situation de conception. Cela dit, cette synchronisation cognitive ne représente pas le seul élément de facilitation de la coopération, il est aussi important que les acteurs aient un moyen permettant la coordination de leurs activités dans les espaces de proximité.

Comme toute approche de facilitation de la coopération, il s'agit d'abord de mettre en avant les informations de base sur lesquelles repose la démarche. Ainsi nous proposons quatre catégories d'information : *processus, objet intermédiaire, problème et acteur*. La dimension maturité (à travers l'objet intermédiaire) représente pour nous, l'un des éléments importants à considérer pour la prise de décision dans les espaces de proximité.

Les dimensions « Processus » et « Problème » permettent une continuité entre les processus d'élaboration de solutions de conception et la coordination du processus planifié. Les dimensions « Acteur » et « Processus » permettent l'identification des acteurs adéquats pour la résolution de problèmes de conception. Les dimensions « Problème » et « Objet intermédiaire » permettent de situer les problèmes de conception, de les exposer, de les expliciter et de lier aux objets intermédiaires associés. Les dimensions « Processus » « Objet intermédiaire » et « Acteur » permettent la qualification de la maturité des objets intermédiaires par des acteurs et en relation avec le processus de conception. Toutes ces dimensions opèrent dans un même espace collaboratif qui est l'espace de proximité.

En outre, nous soulignons le fait que la maturité de pièce à conviction permet aux acteurs de considérer les différentes modalités d'action des objets intermédiaires mais aussi leur évolution dans le processus.

Cependant, nos propositions se basent sur un certain nombre d'hypothèses. Nous supposons que les acteurs dans cet espace partagent des règles métiers, des conventions et des représentations (objets intermédiaires). Nous supposons aussi qu'il est possible, à travers les moyens proposés dans l'espace de proximité, de converger vers une solution commune après un nombre fini d'itérations (d'activités non planifiées).

Ce chapitre reste néanmoins une première proposition d'une gestion du processus de conception collaborative qui intègre la gestion de la coordination du processus de conception planifié et la gestion de la coopération dans les espaces non planifiés. Nous proposons la qualification de la maturité comme lien essentiel entre ces deux modes de gestion. En effet, nous avons vu dans le chapitre 5 qu'à travers l'expression des maturités attendues et cibles des objets intermédiaires échangés dans l'espace projet, les acteurs arrivaient à exprimer leur objectifs et attentes et à trouver un compromis sur ces valeurs et pas conséquence à coordonner leurs activités respectives. Cependant, seules les attentes et les objectifs des acteurs opérationnels ne suffisent pas à coordonner le processus de conception, d'autres facteurs de gestion sont à prendre en compte, tel que les délais de projet, les coûts et la qualité.

Dans le chapitre 7 suivant, nous proposons une démarche de gestion de la coordination des activités planifiées du processus de conception par la qualification de la maturité du flux informationnel échangé dans l'espace projet intégrant aussi les contraintes tactiques de la gestion.

Chapitre 7 : La maturité pour gérer la coordination par le flux d'information dans les espaces projet

Ce chapitre constitue une piste d'amélioration de la gestion de la coordination des activités planifiées dans les espaces projet. L'intérêt ici est de montrer comment à partir des compromis sur les maturités attendues et cibles, c'est-à-dire à partir des maturités de trace habilitée exprimées par les acteurs du projet, il est possible d'organiser/réorganiser le processus et d'optimiser la planification des activités planifiées. Cela dit, seules les maturité de trace habilitée ne sont pas suffisantes pour effectuer ces deux tâches. En effet, pendant le processus de conception, hormis la maturité, l'interdépendance des informations (des objets intermédiaires) représente une difficulté majeure pour l'organisation et la gestion de la coordination. L'interdépendance, combinée avec l'immaturité des objets intermédiaire, engendre *des itérations de conception* importantes et par conséquent des retards et des efforts importants dans le processus de conception.

L'idée dans ce chapitre est de proposer une démarche qui permet, dans un premier temps, d'identifier les différentes dépendances/interdépendances des activités dans l'espace projet, en fonction des maturités de trace habilitée identifiées (cf. §7.1). Ce qui revient à spécifier les besoins de coordination/de coopération dans le processus[90] en fonction de la maturité du flux d'information échangées. Ensuite, il s'agit d'organiser le processus en fonction de ces situations de collaboration (cf. §.7.2 et §7.3). Enfin, l'approche consiste à optimiser la planification des activités dans l'espace projet (cf. §7.4).

7.1 Spécification des situations de collaboration par la maturité du flux d'information

Gérer le processus de conception, revient d'abord à répondre à la question de savoir comment *organiser les activités planifiées de conception* ?

Nous proposons dans cette partie de répondre à cette question en définissant les dépendances/interdépendances entre les activités en fonction de la maturité des objets intermédiaires échangés.

[90] Nous avons vu dans le chapitre 3 (cf. § 3.3.4, tableau 3), que le type de dépendance représente l'un des critères clés de différenciation entre une situation de coordination et une situation de coopération.

L'intérêt de cela est d'exprimer le degré de dépendance en fonction de l'incertitude et de l'usage de l'objet dans le processus. Une telle expression des dépendances prend en compte les risques d'itérations dans le processus. Nous rappelons que Bhuiyan, Gerwin et Thomson [Bhuyian et al 04] proposent deux classifications des itérations dans un processus de conception de produit : les itérations « *versions de conception » (design version)* et les *itérations de type « churn »*.

Nous adaptons les définitions de ces types d'itérations dans notre modèle de collaboration comme suit :

Une itération « *version de conception » (design version)* correspond à une remise en cause d'une information déjà diffusée dans un espace planifié (l'espace projet ou l'espace public). Une itération de type *« churn »* représente le retraitement d'une activité par des changements incrémentaux dans l'espace proximité.

7.1.1 Critères de maturité et degré de dépendance

Nous rappelons que deux composantes (activités, objets intermédiaires, etc.) sont dites dépendantes si un composant ne peut être complété sans l'existence de l'autre (*dépendance à la création*) et/ou si le changement de l'un implique la modification du second (*dépendance à la modification*) (cf. §3.2).

L'objectif de cette partie est de quantifier et de qualifier les liens de dépendance entre les objets intermédiaires. Ces dépendances correspondent à celles reliant deux objets intermédiaires produits par deux activités planifiées du processus (figure 63). Pour ce faire nous utilisons les concepts de *degré de dépendance* et de *type de dépendance*.

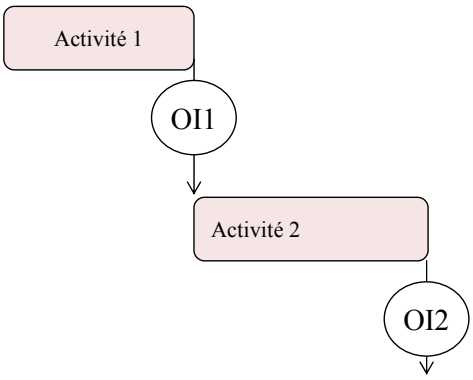


Figure 63 Dépendance entre deux objets intermédiaires produits par deux activités planifiées dans le processus

En fonction de la nature de dépendance considérée, à la création ou à la modification, ils existent différents critères exprimant le *degré de dépendance* entre deux objets.

Nous avons vu que les travaux du domaine des sciences de l'organisation caractérisent la *dépendance à la variation* entre deux éléments du processus, en se basant sur le *niveau de dépendance*, le *classement, l*a *probabilité de répétition*, etc. (cf. §3.2).
La probabilité ou le risque de répétition nous semble le critère le plus pertinent pour représenter la dépendance à la variation entre deux éléments (objets ou activités).

Pour qualifier le lien de dépendance dû à la probabilité d'itération, les auteurs proposent plusieurs attributs dont certains sont équivalents, tels que : *la volatilité* [Yassine et al. 1999], la *visibilité* [Gomes et al. 05], la *variation* et la *sensibilité* [Krishnan et al. 1997], etc. Ce qui correspond, d'après notre modèle de maturité (cf. § 4.15) à des critères d'entrée (exemple : sensibilité, volatilité, etc.) et de sortie (exemple : variation).

Estimer le degré de dépendance entre deux objets revient à considérer les deux maturités (de sortie et d'entrée) en même temps. Ce qui revient à trouver une formule qui agrége les valeurs des deux critères.

Dans la littérature [Keeney et al. 1992], une agrégation des critères de variation et de sensibilité a été proposée. L'agrégation représente une simple multiplication de la variation et la sensibilité. Cela s'explique par le fait que la multiplication de la variation et de la sensibilité est neutralisée si une forte valeur d'un critère et une faible valeur de l'autre se présentent. Par exemple, si l'objet OI2 de la figure 63 ci-dessus, est très sensible aux variations de l'objet OI1 et que l'objet OI1 est de variation négligeable, alors la dépendance à la variation est aussi négligeable. Une dépendance à la variation entre deux objets (OI1 et OI2) est forte si la variation d'un objet (OI1) implique de nombreuses et/ou d'importantes itérations de changement de l'autre objet (OI2).

Par ailleurs, pour qualifier la dépendance à la création entre deux objets, plusieurs critères de la littérature peuvent être utilisés. On cite par exemple, la *pertinence* d'un objet pour l'estimation d'un autre objet, *l'usage* d'un objet requis pour l'usage d'un autre objet, etc. Notre intérêt porte particulièrement sur l'attribut *complétude* (cf. §4.11). Ce dernier, nous le rappelons, correspond à l'*ampleur* (degré d'adéquation aux objectifs des utilisateurs) et à la *profondeur* (degré de détail, d'abstraction, de précision, etc.) de l'objet intermédiaire.

La complétude, contrairement à la variation et à la stabilité, représente un critère de caractérisation statique de l'information qui ne porte pas sur les aspects dynamiques de l'évolution de l'information. En outre, dire que l'estimation d'une information ne peut être complétée sans l'existence d'autre information (définition de la dépendance à la création) revient à dire que l'estimation d'une information requiert une certaine complétude de l'autre information. Ces deux constats constituent, pour nous, la justification du choix de la complétude comme mesure de la dépendance *à la création* entre deux objets intermédiaires dans le processus.

Ainsi une dépendance à la création, entre deux objets, est forte si l'estimation d'un objet requiert l'autre objet soit complet.

Afin de représenter le *degré dépendance* entre deux objets intermédiaires, la *dépendance à la création* et *la dépendance à la variation*, nous avons choisi de les agréger en un seul critère qui est le *degré de dépendance*. La formule du degré de dépendance est donnée dans la figure 64. Cette agrégation s'explique par le fait que pour une variation et une sensibilité données, plus la complétude est importante (allant de *"incomplet"* à *« complet »* (cf. § 4.13)), plus les itérations requises en cas de changement sont longues (importantes en durée) et plus le degré de dépendante est élevé. Par ailleurs, une dépendance à la création *nulle* veut dire qu'il n'y a pas de dépendance entre les objets intermédiaires (la dépendance à la variation n'a aucun sens sans la dépendance à la création). Par contre, une complétude non nulle veut dire qu'il y a au moins une dépendance à la création entre les objets.

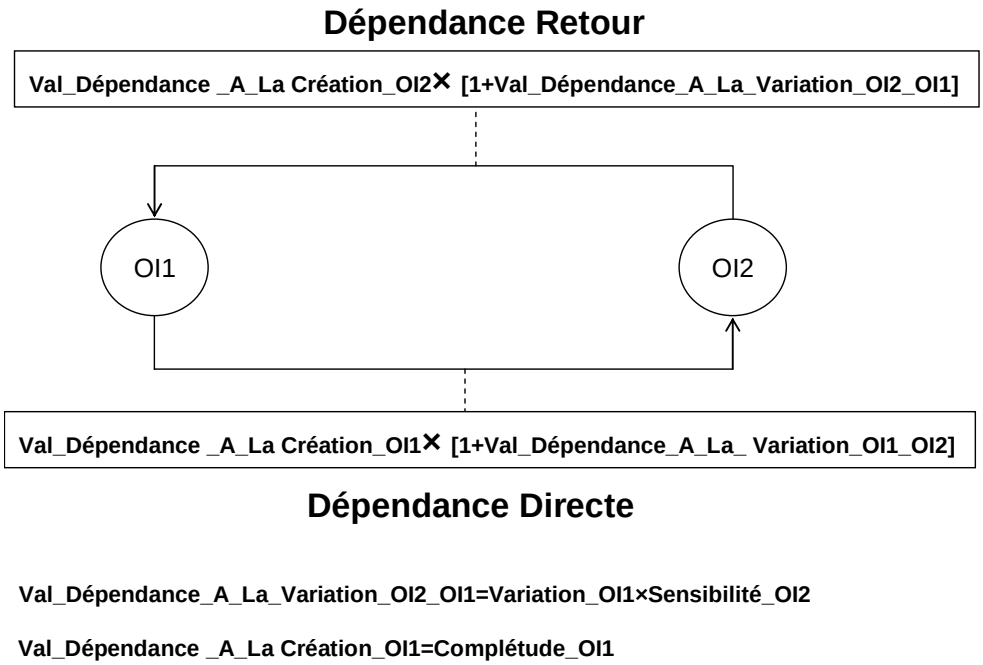


Figure 64 Dépendance directe/retour entre les objets intermédiaires OI1 et OI2 [Grebici et al. 06a]

En se conformant à notre représentation générique de la maturité (cf. §4.15), le degré de dépendance entre deux objets est exprimé en fonction des critères de *maturité d'entrée* (sensibilité et complétude) *et de sortie* (variation).

Par ailleurs, nous distinguons une *dépendance directe* (de l'amont vers l'aval) telle que la dépendance entre OI1 et OI2 dans la figure 64, d'une *dépendance de retour en arrière* telle que la dépendance entre OI2 et OI1 dans la figure 64. Une dépendance de retour en arrière peut être soit un besoin de validation (la validation de OI1 requiert la validation de OI2), soit un besoin de l'objet de l'aval pour la production et la finalisation de l'objet en amont.

Pour des raisons d'illustration, dans la suite de ce chapitre, nous choisissons comme exemples de critères de *maturité d'entrée*, la *sensibilité et la complétude* et comme *critère de maturité de sortie, la variation*.

7.1.2 Degré de dépendance vs types de dépendance entre objets intermédiaires

La méthode des entretiens (questionnaires) structurés des experts pour la qualification des valeurs des critères de maturité, nous a permis de définir quatre paliers qualificatifs : 0 (nul), 1 (faible), 2 (moyen) et 3 (élevé) (tableaux dans l'annexe 5). Ainsi, selon la formule du degré de dépendance de la figure 64 ci-dessus, les valeurs de ce dernier varient entre 0 et 30. Les

valeurs {0} et *{1, 2, 3, 4, 5 et 6}* représentent un degré de dépendance *nul et faible* respectivement, et par conséquent un risque d'itération nul ou faible. Inversement, des valeurs du degré de dépendance de l'ensemble *{14, 15, 20, 21 et 30}* correspondent à un degré de dépendance *élevé* et donc une probabilité d'itération élevée (tableau 9).

val_Dépendance_A_LaCréation×(1+val_Dépendance _A_LaVariation)	(val_DegréDépendance)
0	Nul
1,2, 3, 4, 5, 6	Faible
7, 8, 9, 10, 12	Modéré [91]
14, 15, 20, 21 et 30	Elevé

Tableau 9 Valeurs du degré de dépendance [Grebici et al .06a]

Cette répartition des degrés de dépendance en fonction des valeurs des dépendances à la création et à la variation est due au fait qu'un degré de dépendance est jugé :

- *nul* si la dépendance à la création est *nulle* (*C=0*).
- *faible* si les deux dépendances (à la création et à la variation) sont *faibles* ou bien l'une des dépendances est *faible* et l'autre est *modérée*,
- *modéré* si les deux dépendances sont *modérées* ou bien l'une des dépendances est *faible* et l'autre est *forte,*
- *fort* si les deux dépendances sont *fortes* ou bien l'une des dépendances est *modérée* et l'autre est *forte.*

A chaque degré de dépendance, un type de lien entre deux objets intermédiaires est identifié (figure 65). En effet, un degré de dépendance *nul* correspond à une *indépendance* entre les objets intermédiaires. Cependant un degré de dépendance directe *fort* correspond à un lien de *dépendance simple et fort ou à une dépendance couplée*. Des degrés de dépendance directe et retour en arrière *forts* correspondent à une *interdépendance* entre les objets intermédiaires.

[91] Si la dépendance à la variation est modérée alors la situation de dépendance est à redéfinir (voir les travaux de Yassine [Yassine 1999, 2003]).

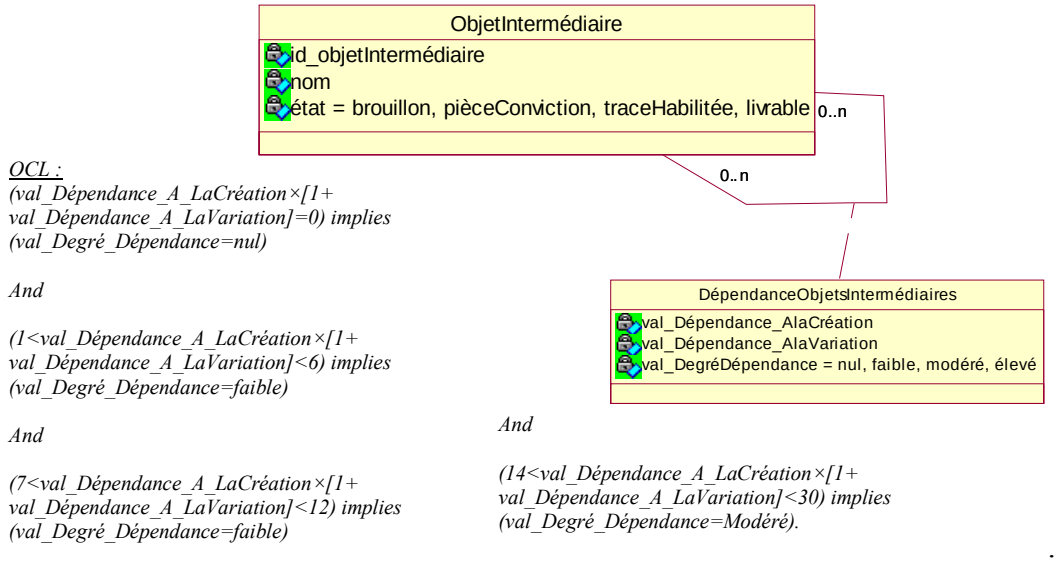


Figure 65 Correspondances entre degré de dépendance et type de dépendance entre deux objets

En fonction du type de dépendance identifié, les risques d'itération (et donc de retard et/ou d'efforts) n'ont pas la même importance.

En effet, dans le cas de *dépendance simple*, il s'agit de situation où le degré de dépendance directe est *modéré ou fort* et le degré de dépendance de retour en arrière est *nul* ou *faible {0, 1, 2 ou 3}*. Dans ce cas, le lien peut être ignoré sans que cela induise des risques d'itérations entre les objets impliqués [Yassine et al. 1999]. Un exemple de lien de dépendance simple est le lien entre la carte topographique et la coupe transversale de l'usine où il s'agit de récupérer le relief du terrain afin de définir l'implantation et l'orientation de l'usine (figure 66). Les liens de retours en arrière sont inexistants (du plan de l'usine vers la carte géologique).

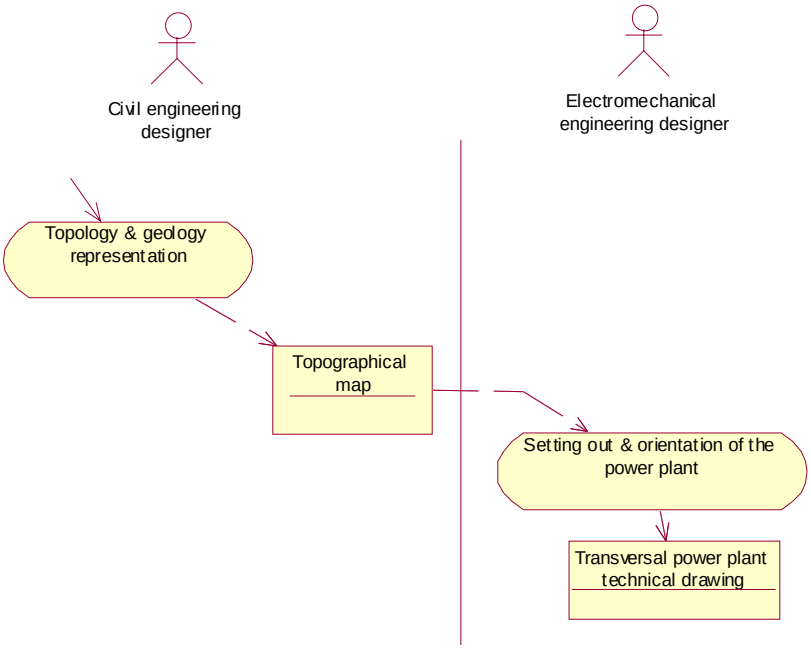


Figure 66 Exemple de dépendance simple

- La *dépendance couplée* correspond à une situation où le degré de dépendance directe est *modéré ou fort* et le degré de dépendance de retour en arrière est *modéré ({4-12})*. Dans ce cas, le risque de cycle d'itérations est modéré. Une *forte* dépendance directe et une dépendance de retour en arrière *modérée* veut dire qu'une variation dans l'amont (OI1) induit des modifications importantes dans l'aval (OI2) qui induisent, à leur tour, des modifications modérées de l'amont (OI1) et ainsi de suite. Les liens de retours en arrière ne peuvent être ignorés sans que cela induise des risques (modérés) d'itérations entre les objets intermédiaires. Comme exemple de *dépendance couplée*, on cite le lien entre un profil hydraulique et un plan d'installation hydroélectriques (figure 67). La dépendance directe entre le profil hydraulique et le plan 2D est *forte* car le profil hydraulique requis pour l'élaboration du plan d'implantation des installations est *complet* (C=3)[92], la variation du profil hydraulique est *faible* (V=3) et le plan d'implantation est de sensibilité *élevée* (S=3)[93] à toute variation du profil hydraulique.

[92] Il faut que le circuit des écoulements soit complet pour que l'implantation des installations soit possible.
[93] Un changement du circuit des écoulements implique des modifications considérables du positionnement des installations.

Aussi la dépendance de retour en arrière du plan 2D vers le profil hydraulique est modérée (V=3[94], S=3[95] et C=1[96]).

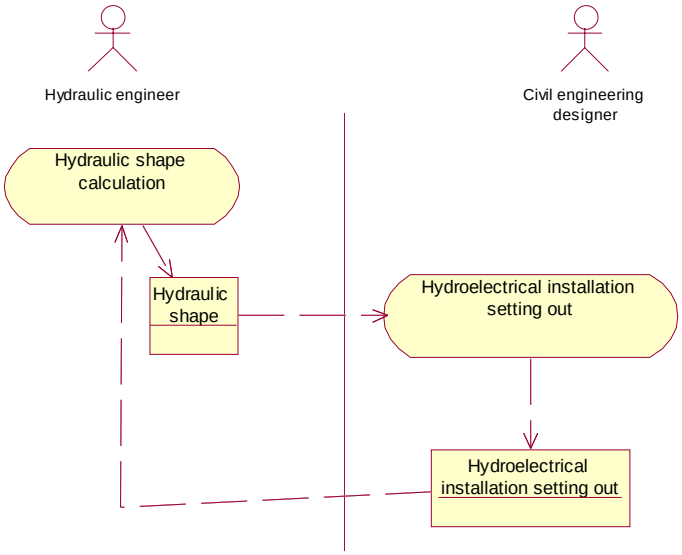


Figure 67 Exemple de dépendance couplée entre le profil hydraulique et le plan d'implantation des installations hydroélectriques

- *L'interdépendance* correspond à une situation de dépendance forte où les dépendances directe et de retour en arrières sont fortes. Dans ce cas les risques de cycle d'itération sont très élevés. Contrairement au cas de dépendance couplée ou l'ordre de diffusion des objets intermédiaires est connu, dans le cas d'interdépendance l'ordre est inconnu (le lien de retour est aussi fort que le lien direct). Comme exemple d'*interdépendance*, on cite les liens entre le plan de définition des installations hydroélectriques et la coupe transversale de l'usine (figure 68). La dépendance entre le plan de définition et la coupe transversale de l'usine est fort car le plan de définition est instable (V=1) et la sensibilité de la coupe transversale est élevée (S=3) à toute variation du plan de définition des installations. Inversement, la dépendance entre la coupe transversale et le plan de définition est fort car la coupe transversale est aussi instable (V=1), et le plan de définition est très sensible (S=3) à toute variation de la coupe.

[94] Ce niveau de variabilité est dû au fait que le plan d'installations, pendant sa production, dépend essentiellement de la géologie, de la topographie, de l'hydrologie, etc. qui sont déjà pris en compte dans l'élaboration du profil hydraulique.
[95] Une variation dans le plan d'installation implique des variations dans la distance entre le bassin amont et l'usine et par conséquent des modifications dans le circuit hydraulique (changement des dimensions des conduits amont, du débit amont, etc.)
[96] La production du profil hydraulique ne requiert pas un plan d'installation complet, juste les dimensions du bassin amont sont requises pour la définition du circuit hydraulique.

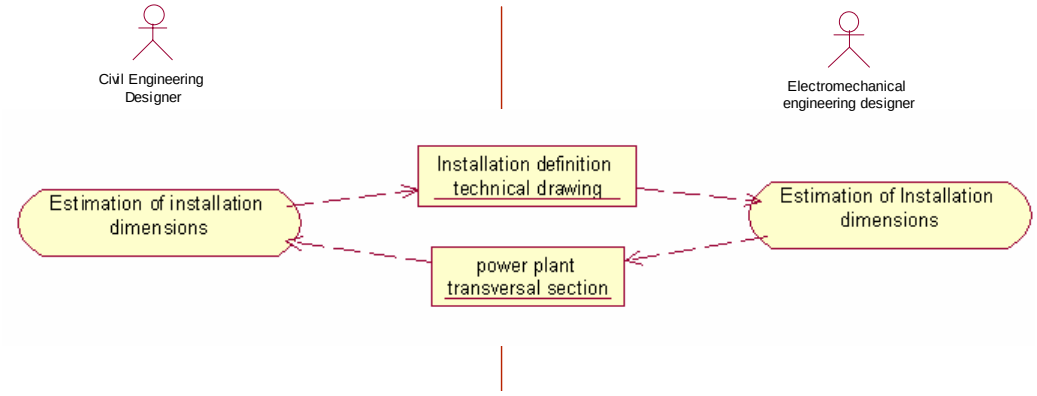


Figure 68 Exemple d'interdépendance entre le plan de définition des installations et la coupe transversale de l'usine

Nous résumons l'ensemble des analyses ci-dessus sur les types de dépendance dans le modèle UML de la figure 69.

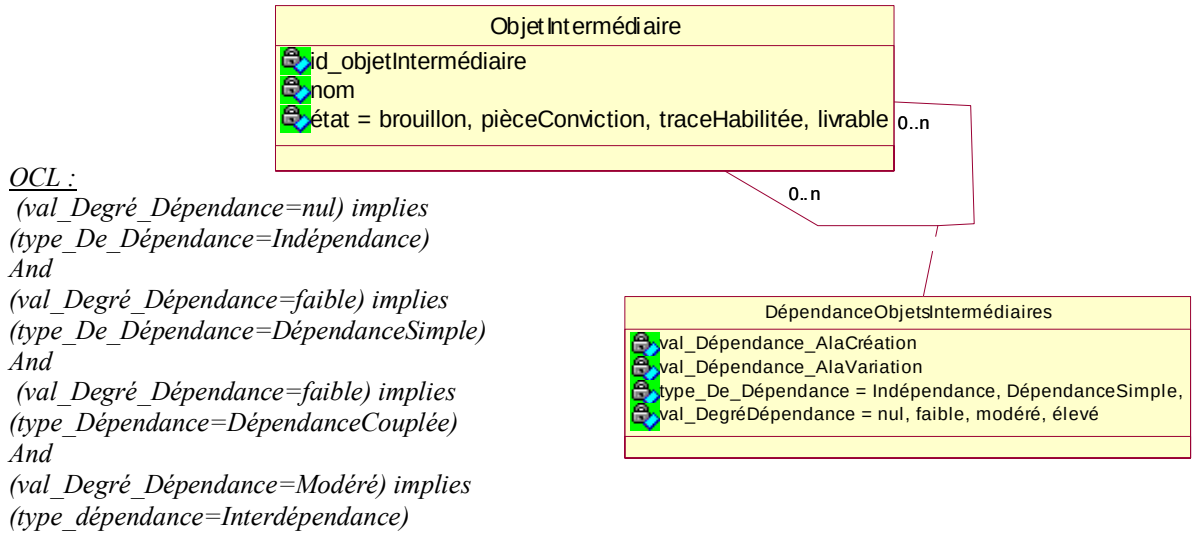


Figure 69 Degré de dépendance vs type de dépendance

L'analyse du degré de dépendance entre les objets intermédiaires dans ce chapitre, permet d'affiner les types de collaboration introduits dans le chapitre 3. Si on reprend les critères de caractérisation des situations de collaboration, deux activités de conception sont impliquées dans une *coordination simple* si les conditions de coordination sont satisfaites et les objets intermédiaires échangés sont reliés par une *dépendance simple*[97] (tableau 10). Cependant, si les conditions de situation de coordination sont satisfaites et les objets intermédiaires sont, en

[97] Moyennant les autres critères de caractérisation de la coordination et de la coopération : répartition des responsabilités, nature des objets intermédiaires échangés, etc. présentés dans le chapitre 5.

partie, couplés alors il s'agit d'une situation de *coordination couplée* (tableau 10). Enfin, si les conditions de coopération sont remplies et les objets intermédiaires sont, en partie, *interdépendants* alors il s'agit d'une situation de *coopération* (tableau 10).

Critères de caractérisation	Coordination simple	Coordination couplée	Coopération
Responsabilité des acteurs	Non partagée	Non partagée	Partagée (commune)
Répartition des objectifs	Distribuée	Distribuée	Commune
Partage des connaissances	Pas nécessaires	Pas nécessaire	Nécessaire
Diffusion des objets intermédiaires	selon une modalité de mise en accord	Selon une modalité de mise en accord	Selon des modalités de création conjointe, de confrontation,
Rôle des objets échangés	Support de résultat (ouvert)	Support de résultat (ouvert)	Vecteur de communication (fermé)
L'ordonnancement des activités	Connu	Connu	Inconnu
Type de dépendance entre les objets intermédiaires	Dépendance simple	Dépendance couplée	Interdépendance

Tableau 10 Degré de dépendance vs collaboration

Cette différenciation entre la coordination et la coopération est utile pour l'organisation des équipes de conception mais encore insuffisante pour l'organisation du processus. Pour ce faire, nous proposons de répondre aux questions :

- Dans quel ordre les objets intermédiaires immatures doivent être diffusés ?
- Comment ces objets immatures doivent être diffusés ?

Les réponses à ces questions doivent être construites de sorte à réduire les risques liés aux itérations de conception. Une réponse à ces deux questions est proposée dans les parties §7.2, §7.3 suivantes.

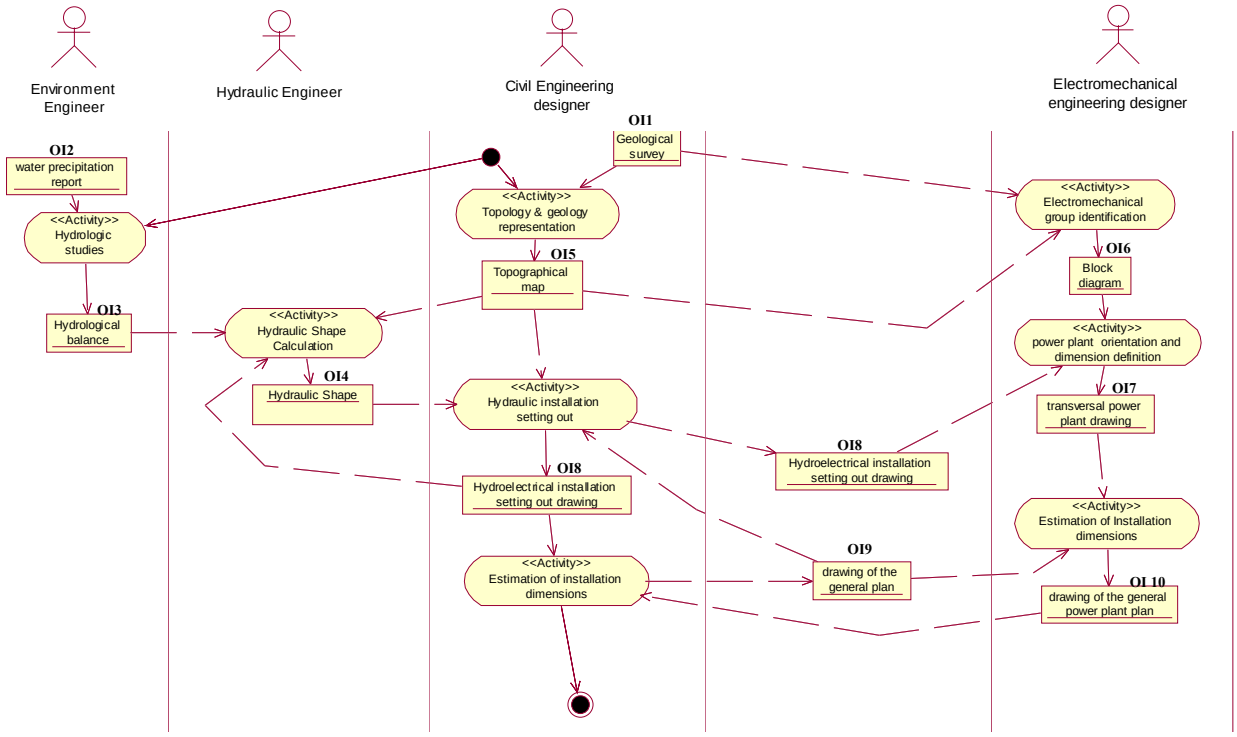
7.2 Organisation des activités planifiées par les flux d'information

La démarche d'organisation du processus de conception proposée repose sur le principe suivant : organiser les activités planifiées du processus de conception revient à organiser le

flux d'information. Autrement dit, l'organisation du processus revient à l'organisation la diffusion des objets intermédiaires qui y sont échangés.

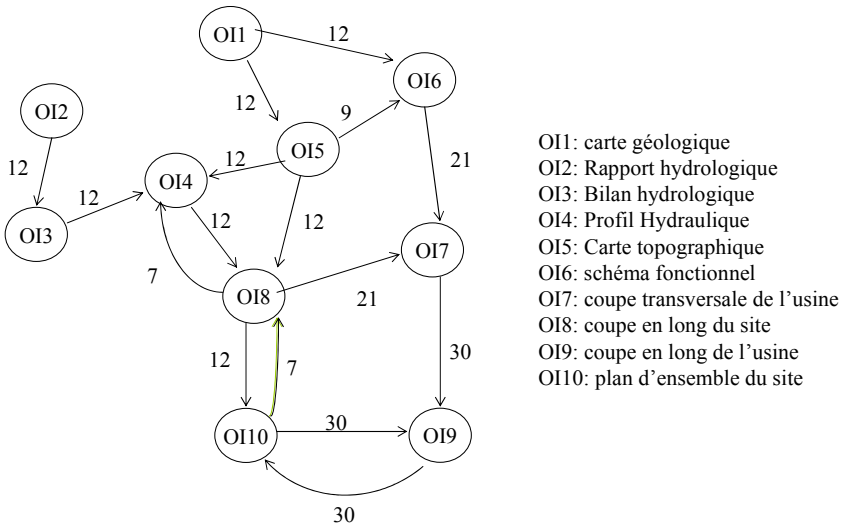
Nous rappelons, par ailleurs, que seuls les objets intermédiaires critiques[98] sont considérés dans ce travail. Ce qui revient à identifier les objets intermédiaires impliqués dans des réseaux de dépendance fortes c'est-à-dire les dépendances couplées ou les interdépendances. La méthode d'organisation présentée dans ce travail se base sur ce principe. Une fois les réseaux de fortes dépendances identifiés, il convient d'organiser la diffusion des objets intermédiaires en commençant par les objets qui sont les moins dépendants et en finissant par ceux qui sont les plus dépendants.

La démarche se décline en quatre étapes et est illustrée par un exemple réel de réseau de dépendance d'objets intermédiaires observé au CIH pendant la phase d'étude de faisabilité d'un projet de nouvelle installation (figure 70).



70a Diagramme d'activités de la phase faisabilité au CIH

[98] Les objets intermédiaires sont souvent ceux qui jouent le rôle de paramètre de conception.



70b Réseau de dépendance des OI

Figure 70 Exemple de réseau de dépendance entre objets intermédiaires au CIH.

Pour des raisons de simplicité, les objets intermédiaires du diagramme d'activité (figure 70a) sont numérotés et organisés en un graphe où les sommets représentent les objets intermédiaires et les arcs les dépendances entre ces derniers.

Etape 1 : Considérons le réseau des objets intermédiaires de la figure 70. Il s'agit de ranger les OI (objets intermédiaires) du réseau obtenu de manière à ce que les plus dépendants soient classés en premier. Plusieurs algorithmes de tri peuvent être utilisés [Lawler 1976] [Steward 1991]. Notre choix s'est porté sur la procédure de Lawler (cf. annexe 6) pour sa simplicité et son efficacité. Il s'agit de classer en premier les OI dont le degré de dépendance entrant[99] est nul, ensuite de reconsidérer le nouveau réseau en supprimant l'objet intermédiaire classé ainsi que tous ses arcs sortants. La procédure est ensuite appliquée sur le réseau restant, ainsi de suite jusqu'au dernier OI. Cependant, s'il reste encore des OI qui ne sont pas classés et que tous ces derniers ont un degré de dépendance entrant non nul, cela veut dire qu'il y a au moins un cycle dans le graphe. Cette procédure n'est plus appliquée, il faut passer à l'étape 2. C'est le cas pour notre exemple ; l'application de la procédure permet juste de classer OI1, OI2 et OI3 (carte géologique, rapport hydrologique et bilan hydraulique respectivement). Les objets intermédiaires restants ont tous des degrés entrants non nuls.

[99] Le degré entrant à un sommet dans un graphe représente le nombre d'arcs entrants à ce sommet.

Etape 2 : Si l'étape 1 révèle l'existence d'un cycle, il convient donc de détecter ces cycles avant de poursuivre le tri. Deux méthodes sont connues pour ce faire : *path searching* [Steward 1981] et « *powers of the DSM* » [Kehat et al.1973]. Dans la méthode de *« Path searching »*, le flux d'information est parcouru en arrière à partir d'un sommet du graphe, jusqu'à ce qu'un sommet soit rencontré pour la deuxième fois. Tous les sommets visités pendant le parcours entre deux rencontres du même sommet, constituent un cycle d'information. On applique cette procédure sur le réseau de la figure 70, en parcourant en arrière, à partir de l'objet intermédiaire OI4[100], et en suivant les liens de dépendance vers les OI ascendants et dont le niveaux est au moins modéré (≥ 7)[101]. A partir de OI4 on choisit, par exemple, l'objet OI8, ensuite l'objet OI4 est rencontré pour la deuxième fois. Par conséquent, OI4→OI8→OI4 représente un cycle de dépendance. On continue la procédure jusqu'au parcours complet du réseau. Les circuits identifiés correspondent aux OI couplés ou interdépendants de la figure 71 ci-dessous. Les OI sont alors regroupés en blocs d'interdépendances (exemple : OI9, OI10) et en blocs de couplages (exemple : OI4, OI8).

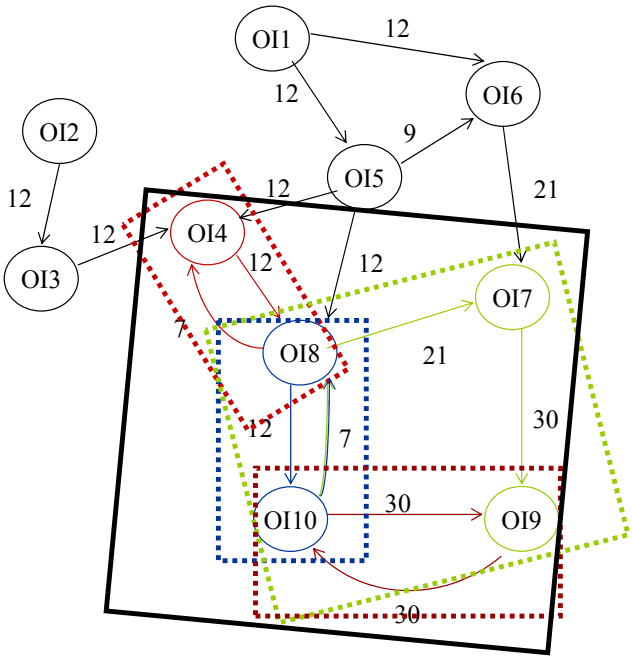


Figure 71 Cycles de dépendance couplée et d'interdépendance

Le nombre de bloc doit être réduit au minimum, c'est-à-dire que si deux cycles ont au moins un OI en commun, ils sont regroupés dans un seul et même bloc (figure 72).

[100] Le choix de l'objet intermédiaire de départ est arbitraire.
[101] Ceux qui sont de dépendance faible les ignorer ne représente pas de risque pour le processus

Etape 3 : Considérons le nouveau réseau acyclique dont les blocs sont réduits à des objets intermédiaires (Figure 72). Il s'agit de ranger les OI du réseau obtenu suivant la procédure de Lawler (procédure 1 dans l'annexe 6). En appliquant cette procédure sur notre réseau d'objets intermédiaires, on obtient l'organisation du flux d'information (en dehors des cycles d'itération) de la figure 72.

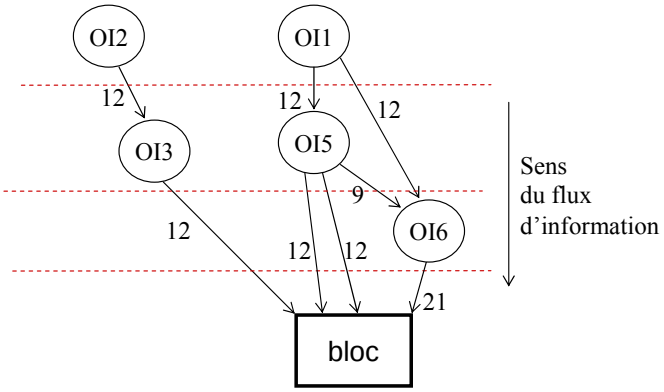


Figure 72 Organisation du flux d'information en dehors des cycles d'itération

Etape 4 : Reconsidérons tous les cycles de dépendances identifiés dans l'étape 2 avec l'organisation du flux d'information obtenue dans l'étape 3. L'objectif est donc de réorganiser les OI couplés et interdépendants au sein des cycles afin de trouver une organisation du flux d'information. Trier les OI au sein d'un cycle de dépendance revient à poser des hypothèses sur la valeur du premier OI diffusé dans le cycle de dépendance. L'objectif est que le nombre d'hypothèses posées soit le plus réduit possible [Steward 1981, Rogers 1989, Kusiak et Wang 1993]. Pour ce faire, plusieurs méthodes de tri ont été développées. Le principe du tri est toujours le même et consiste à trier les OI dans l'ordre croissant du ratio (degré entrant/degré sortant) au sein de chaque bloc, puisque cela correspond aux OI qui dépendent le moins de leurs OI ascendants (dans le bloc). Une fois un OI classé, il est supprimé ainsi que tous ses dépendances dans le bloc. La procédure de tri est relancée sur le nouveau bloc, et ainsi de suite jusqu'au dernier OI dans le bloc. Le ratio considéré dans cette procédure correspond au rapport entre la moyenne des degrés de dépendance entrants DE et la moyenne des degrés de dépendance sortants DS (équation 1).

$$\text{DE}= \left(\frac{\sum niveau\_dependance\_entrant}{nombre\_arcs\_entrants}\right),\ \text{DS}= \left(\frac{\sum niveaux\_dependance\_sortant}{nombre\_arcs\_sortants}\right)$$

$$\text{Ratio} = \frac{DE}{DS}$$

Équation 2 Expression du ratio de tri pour l'étape 4

En appliquant cette procédure sur l'exemple de la figure 73, on obtient l'organisation du flux d'information de la figure 73.

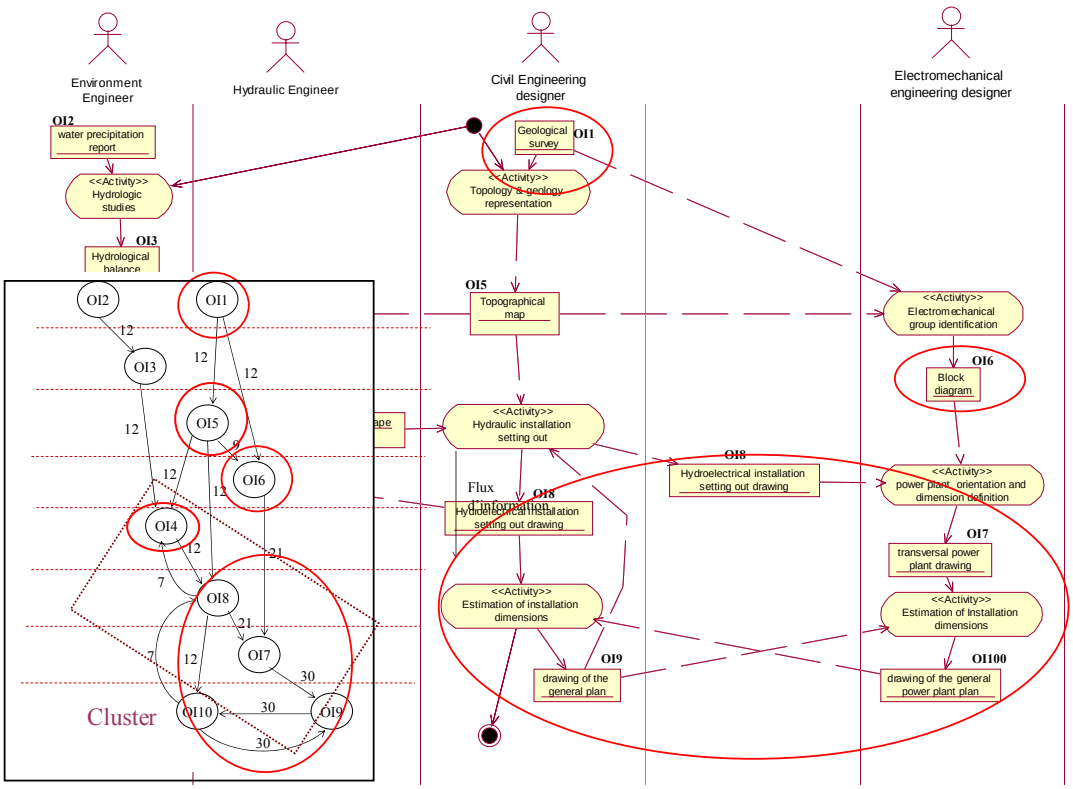


Figure 73 Organisation finale du flux d'information dans le processus

Si l'on compare les réseaux de dépendance final (figure 73) départ (figure 74), on voit que dans le réseau structuré final, la direction du flux des informations est définie et les blocs de cycles d'itération sont mis en évidence. Par conséquent, le risque lié aux changements dans les objets est mis en évidence (à travers les degrés de dépendance). Ce qui permet d'estimer l'impact des changements survenus sur les objets et d'organiser les activités en conséquence.

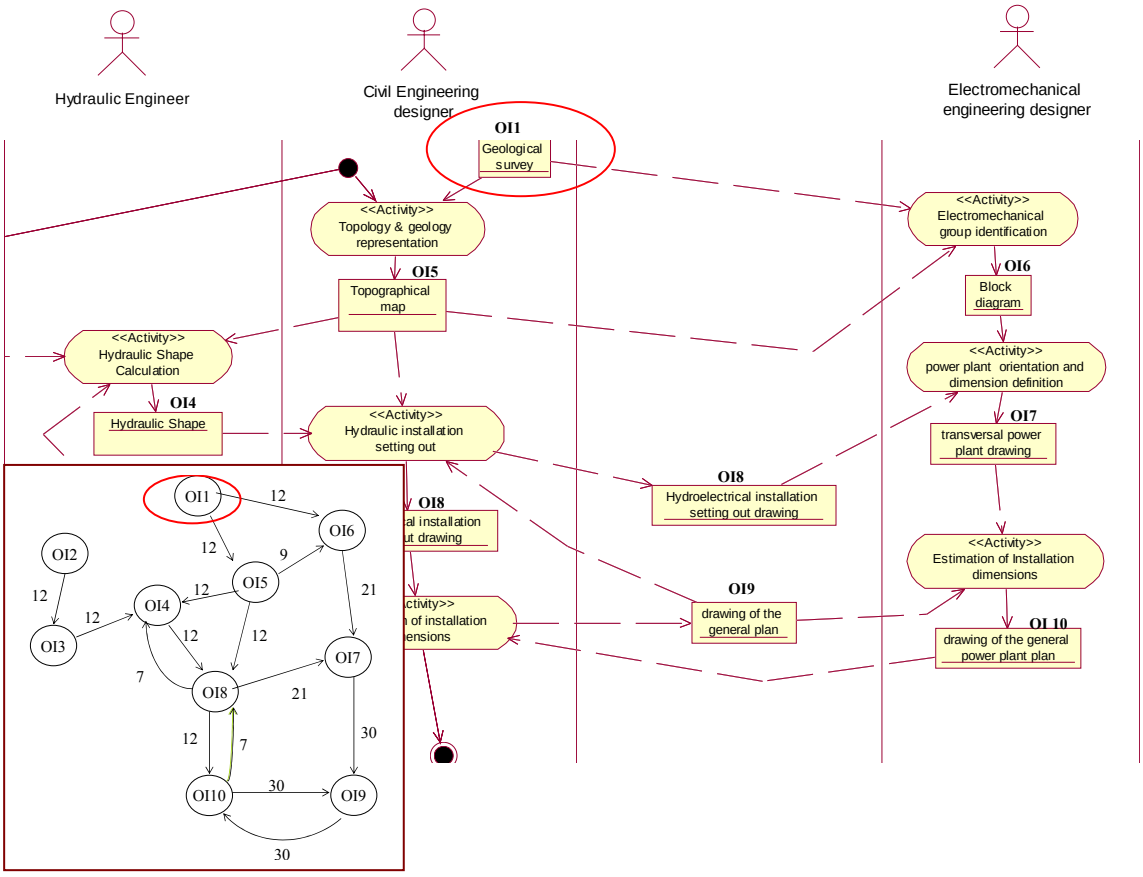


Figure 74 Avant structuration du flux d'information

Prenons l'exemple d'un changement survenant sur l'objet OI1 ci-dessus. Dans le réseau de dépendance initial (figure 74), il est difficile de mesurer les risques d'itérations (en avant et en arrière) possibles, alors que dans le graphe structuré (figure 73), on identifie assez facilement quatre branches par lesquelles le flux de modification est susceptible de passer et d'arriver au bloc d'interdépendance :

- branche 1 : OI1-OI6-OI7
- branche 2 : OI1-OI5-OI8
- branche 3 : OI1-OI5-OI6-OI7
- branche 3 : OI1-OI5-OI4

Chacune de ces branches représente un risque donné d'itération (par exemple : $\frac{7}{25}$, $\frac{4}{25}$, $\frac{21}{250}$ et $\frac{4}{25}$ respectivement)[102]. La première branche représente le plus grand risque d'occurrence ($\frac{7}{25}$) avant d'atteindre le bloc d'interdépendance. Les objets intermédiaires définis sur cette branche (OI1, OI6) ainsi que les objets du bloc d'interdépendance (OI7, OI8, OI9 et OI10) sont considérés comme *des objets intermédiaires critiques*.

Une l'organisation du sens de diffusion des objets intermédiaires est défini, les risques d'itération évalués et les objets critiques identifiés, il convient de déterminer les stratégies de diffusion de ces objets. Cette diffusion devrait réduire les probabilités d'itération des activités associées aux objets intermédiaires critiques.

7.3 Stratégies de diffusion des objets intermédiaires critiques

En fonction des critères de maturité : *complétude, variation et sensibilité* des objets échangés, différents risques d'impact sont identifiés. En effet, une *complétude importante* représente un risque *d'itération* de durée importante en amont. Une *variation importante* représente une *fréquence d'itération amont* importante. Une *sensibilité importante* représente un risque *d'itération de conception important* en aval.

L'intérêt est d'identifier différentes approches pour organiser l'exécution des activités planifiées impliquées dans les réseaux de dépendance. Autrement dit, il s'agit de définir des stratégies de coordination permettant la diffusion des objets intermédiaires critiques dans l'espace projet, sans que cela induise de grands risques d'itération.

Dans le chapitre 3, nous avons présenté plusieurs travaux de gestion de la coordination [Swink et al.1996] [Krishnan et al. 1997] [Loch et al. 1998] [Yassine et al.1999] [Joglekar et al. 01] [Bhuiyan et al. 04] qui se basent sur les critères : *variation, sensibilité, stabilité, imprécision, etc.* associés aux informations préliminaires.

[102] Le risque estimé ici correspond à un calcul approximatif de la probabilité qu'un changement arrive sur un chemin donné du réseau. Par exemple la probabilité que des modifications arrivent sur le chemin : OI1-OI5-OI8 est estimé par le ratio : $\frac{12}{30} \times \frac{12}{30} = \frac{4}{25}$

Les résultats que nous proposons dans cette partie s'inspirent de ces travaux. Nous proposons notamment la *complétude* comme un critère supplémentaire de décision des stratégies de diffusion.

Dans ce qui suit, nous commençons d'abord par discuter le cas de dépendance simple (pas de liens de retour en arrière), ensuite nous exposerons les cas plus complexes qui sont le couplage et l'interdépendance.

7.3.1 Cas de dépendance simple

Comme exemple de dépendance simple prenons l'exemple du lien de dépendance entre l'activité 1 et l'activité 2 de la figure 75. On suppose que seuls les objets intermédiaires OI1 et OI2 sont produits par les activités 1 et 2, respectivement.

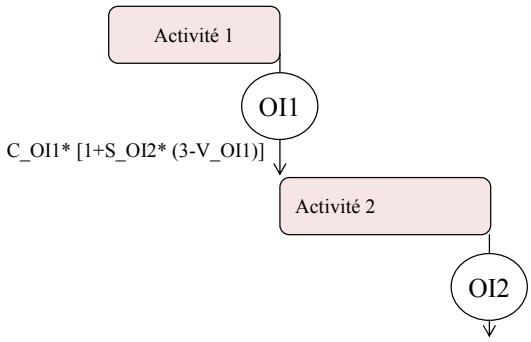


Figure 75 Dépendance simple

Dans cette section, différentes valeurs de la complétude (*incomplet*, *très partiel, partiel et complet*) sont considérées. Pour chaque valeur de la complétude, nous analysons les valeurs de la variation de OI1 et de la sensibilité de l'activité 2 (ou de l'objet OI2) par rapport aux variations de l'objet OI1. Pour chaque cas, des modes d'organisation des activités 1 et 2 ou de diffusion de l'objet OI1, sont proposés.

Cas 1 : OI1 est « incomplet» (C_OI1=0). La production de l'objet OI2 ne requiert pas l'utilisation de l'objet OI1. Dans ce cas, les activités 1 et 2 sont indépendantes et peuvent être organisées selon un «*recouvrement total à gauche*»[103]. Ce qui veut dire que l'exécution de ces activités peut commencer en même temps sans que cela induise des risques d'itération.

Cas 2 : OI1 est au moins « très partiel » (C_OI1 ≥ 1)

[103] Appelé "*early overlapping*" dans les travaux de Joglekar [Joglekar et al. 01]

Cas 2.1 : OI1 est « stable » (V_OI1=3). L'objet OI1, une fois produit, est de faible incertitude. Il est donc possible d'anticiper la valeur et le moment de sa production et de son utilisation par l'activité 2. Cette dernière peut commencer son exécution avec une valeur finale[104] de OI1. La diffusion de l'objet OI1 de l'activité 1 vers l'activité 2 est organisée selon une « *coordination séquentielle*» (cas 2.3 ci-dessous). Un exemple de situation de diffusion adéquate à cette stratégie est la diffusion du bilan hydrologique de l'activité « analyse de la géologie du site » vers l'activité «estimation du profil hydraulique » (figure 74). En effet, le bilan hydrologique, une fois produit est complet et ne varie plus[105].

Cas 2.2: l'activité 2 est « insensible » aux variations de OI1 (S=0). Pour toute variation de l'objet OI1, l'impact sur l'activité 2 est négligeable (les itérations de conception sont négligeables). Ce qui implique que la diffusion de l'objet OI1 dépend de sa variation et de sa complétude requise par l'activité 2. Dans ce cas, il est possible soit d'anticiper la valeur de l'objet OI1 car il est de variation faible (V_OI1=2, ou 3), soit de diffuser des versions immatures de l'objet OI1 car celui-ci est instable (V_OI1=1). Ces versions immatures correspondent à des itérations amont (pendant l'activité 1) nécessaires pour que l'objet OI1 se stabilise et atteint la complétude requise par l'activité 2 (C_OI1≥1). Cela dit, les risques d'itération de conception sont, dans les deux cas, négligeables (S=0). Cependant, en cas d'itérations amont importantes (V_OI1 <3), et de complétude importante (C_OI1=2 ou 3), les itérations risquent d'être longues et peuvent induirent un retard en conception non négligeable. Il est donc nécessaire d'organiser la diffusion de OI1 en fonction de sa variation et de sa complétude.

En outre, nous distinguons le cas de complétude faible et de variation élevée des autres cas. Le premier cas correspond à un « *recouvrement itératif* » (voir le cas 2.3 suivant) où seule la fréquence des itérations amont est considérée. Le deuxième cas correspond à un *« recouvrement anticipé* » (voir le cas 2.3 suivant) où la fréquence (variation) et l'amplitude (complétude) des itérations amont sont considérées.

Cas 2.3 : OI1 est au moins "modérément instable" et est «partiel» et l'activité 2 est au moins " faiblement sensible" (V_OI1≤ 2, C_OI1=1 et S ≥1). La diffusion de l'objet OI1 dépend des valeurs des critères de variation de OI1 et de sensibilité de l'activité 2. Dans ce

[104] Dans le cas de coordination d'activités dans l'espace projet, par valeur finale d'un objet intermédiaire, on entend la valeur cible que l'activité amont peut fournir à la fin de son exécution.
[105] Etant donné que les données du site telle que le rapport hydrologique sont mesurées une seule fois dans le processus, leur variation est négligeable et par conséquent La variation du bilan hydrologique est négligeable.

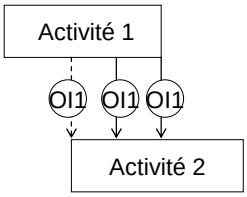
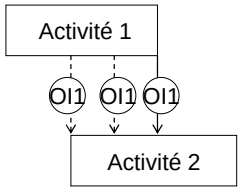
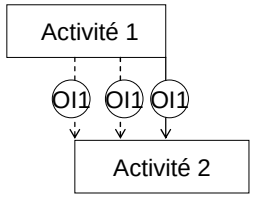
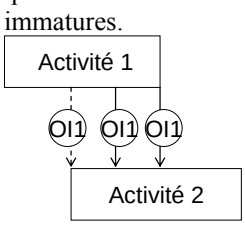
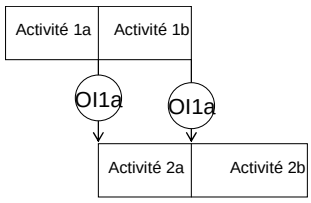
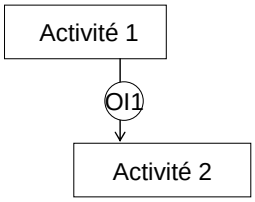
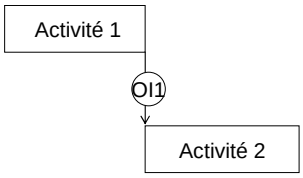
cas, nous reprenons les stratégies de coordination proposées par Krishnan [Krishnan et al. 1997], Yassine [Yassine et al.1999], et par Bhuiyan [Bhuiyan et al. 04] et nous proposons le tableau 11 des stratégies de diffusion de l'objet OI1 en fonction des valeurs de la variation et de la sensibilité.

- *Stratégie de recouvrement distributif* (*distributive overlapping*) : Ce cas correspond à une variation faible (V_OI1=2 ou 3) et à une sensibilité faible ou modérée (S= 1 ou 2) (tableau 11). Dans ce cas, il est possible de commencer l'activité 2 avec une valeur immature de l'objet OI1 (puisque la sensibilité en aval est faible) *et d'anticiper* les changements futurs sur cette dernière (puisque la variation est faible). L'impact d'un tel changement est de *fréquence faible à modérée* (S ≤ 2) et d'*amplitude faible* (C_OI1=1). Le nom *"recouvrement distributif"*[106] est dû au fait que l'impact d'un tel recouvrement peut être distribué entre l'amont et l'aval[107].

- *Stratégie de recouvrement itératif* (*iterative overlapping*) : Quand la sensibilité de l'activité 2 aux variations de l'objet OI1 est faible (S=1), cela veut dire que l'instabilité de OI1 (V_OI1=1 ou 2) impacte faiblement l'exécution du processus en aval (tableau 11). Dans ce cas, les changements portés sur OI1 dépendent de sa *variation et de sa complétude* et sont effectués dans des itérations amont dans l'activité 1. Cela dit, ces itérations amont sont *nombreuses* car la variation est élevée (V_OI1= 2 ou 3) et sont *d'amplitude faible* car la complétude requise est faible (C_OI1=1). La diffusion de l'objet OI1 recommandée est *immature* et *itérative* où chaque changement est incorporé dans l'activité 2 avec une *faible* fréquence d'itération de conception.

- *Stratégie de recouvrement anticipé* (*Pre-emptive overlapping)* : Ce cas correspond à une variation faible (V_OI1=3) de OI1 et une activité avale modérément sensible à sensible (S=2, 3) (tableau 3). Les itérations en amont sont rares et d'amplitude faible mais peuvent avoir un impact important sur les itérations de conception (S=2, 3). Une diffusion de OI1 *anticipée et finale* est recommandée dans ce cas.

[106] Appelé aussi recouvrement partiel.
[107] Un changement de l'information amont est d'abord supporté par l'amont (itérations émulsifiantes dans les espaces de proximité) et ensuite pris en charge par l'aval (itération de conception dans l'espace projet).

Complétude (C=1)		Variation Faible (V =3)	Variation Modérée (V =2)	Variation Elevée (V=1)
		- Faibles itérations en amont et faibles itérations avales. - Plus de diffusions finales et peu de diffusions immatures.	- Itérations en amont modérées et itérations avales faibles. -Diffusions immatures modérées et faibles diffusions finales	- Fortes itérations en amont et faibles itérations avales. - Fortes diffusions immatures et faibles diffusions finales
	Faible (S=1)			
		Recouvrement distributif	**Recouvrement itératif**	**Recouvrement iteratif**
		- Faibles itérations en amont et itérations avales modérées. -Plus de diffusions finales et anticipées que de diffusions immatures.	- Itérations modérées en amont et en aval. - stratégie de diffusion inconnue.	- Fortes itérations en amont et itérations avales modérées. - Pas de diffusions immatures que quelques diffusions finales.
Sensibilité	Modérée (S=2)		**Redéfinition de l'activité en amont ou de l'activité en aval**	
		Recouvrement distributif		**Recouvrement divisif**
		- Faibles itérations en amont et fortes itérations en avale. - Diffusions finales anticipées et pas de diffusions immatures.	- Itérations en amont modérées et fortes itérations avales. - Diffusions finales et non anticipées.	- Fortes itérations en amont et en aval. - Le sens de la diffusion difficile à définir. Le flux d'information est interne.
	Elevée (S=3)			**Stratégie de coopération**
		Recouvrement anticipé	**Conception séquentielle**	

- - - - - - - - - - - - - -> Diffusion immature ou préliminaire ——————> Diffusion finale

Tableau 11 Critères de maturité et stratégies de diffusion des objets intermédiaires [Grebici 06a]

- *Stratégie de recouvrement divisif (Divisive overlapping)* : Quand l'activité 2 est modérément sensible (S=2) et l'objet intermédiaire OI1 est instable (V=0, 1) (tableau 11), il n'est ni

recommandé de commencer tôt l'activité en aval avec des valeurs immatures de OI1 car cela risque d'engendrer des itérations de conception importantes (S=2), ni d'anticiper et de geler l'objet OI1 plus tôt que prévu car cela peut engendrer des itérations amont importantes (V=1). Dans un tel cas, l'objet OI1 est désagrégé en composants (OI1a et OI1b dans le tableau 11) de façon à ce que ces derniers soient de variations faibles ou de faibles impacts sur l'activité en aval (engendrant de faibles sensibilités).

Par conséquent, les activités (activités 1 et 2) sont fragmentées en plusieurs sous activités, où chacune d'elles utilise un fragment de l'objet OI1. Il n'existe pas de règle générale pour fixer le nombre optimal des fragments d'information ou du nombre de sous activités. Cela dépend de chaque situation de conception qui doit être profondément analysée.

Un exemple adapté à une stratégie de recouvrement divisif est le cas de la coordination entre les activités *« implantation des installations dans le site »* et *« estimation du profil hydraulique »* (figure 74). Dans ce cas, la complétude de la *« vue en long du site »* requise par l'activité avale est modérée car elle concerne la retenue et la partie amont de l'usine. Par contre la « vue en long du site » est fortement variable[108] et l'estimation du profil hydraulique est fortement sensible aux variations de la *« vue en long du site »*. Il serait opportun de diviser la première activité en trois activités (par exemple) : une première concerne l'identification du bassin amont, une deuxième concerne l'estimation de la hauteur de chute (distance entre le barrage et l'usine) et une troisième concerne l'estimation du reste des installations dans le site. Les objets intermédiaires *« bassin amont »* et *« hauteur de chute »* restent toujours des informations auxquelles les activités en aval sont très sensibles, mais elles sont moins variables que l'objet intermédiaire *« vue en long du site »*.

- *Stratégie de redéfinition des activités en amont et/ou en aval* : le recouvrement peut s'avérer insuffisant pour réduire les risques d'itération de conception quand la variation et la sensibilité sont modérées (tableau 11). Une approche alternative serait de redéfinir l'une des activités ou les deux activités de manière à obtenir des résultats amont moins variables et des sensibilités en aval plus faibles par rapport aux valeurs d'origine (tableau 11).

- *Stratégie de coopération :* Ce cas correspond à une activité en aval sensible au moindre changement de l'information en amont et à des changements importants de l'information en

[108] La vue en long du site est un objet qui dépend de plusieurs autres informations qui sont aussi variables telles que les dimensions et l'orientation de l'usine, le type de groupes dans l'usine, etc.

amont (tableau 11). Le risque inhérent dans ce cas est une fréquence importante des itérations de conception. Une stratégie qui permettrait de diminuer cette fréquence serait de considérer les contraintes en aval le plus tôt possible par l'amont et que les retours en arrière soient le plus tôt possible également. Cela est possible dans une *coopération* qui impliquerait une équipe multidisciplinaire *dédiée*[109] et où le flux d'information est interne. Cette stratégie peut permettre une réduction de la variation des informations amont puisque les acteurs de l'activité amont travaillent en simultané avec les acteurs de l'activité en aval. Avec une stratégie de coopération, il est possible de diminuer la sensibilité de l'activité en aval puisque les retours en arrière sont instantanément pris en compte par l'équipe multidisciplinaire. Ainsi, les itérations de conception sont réduites au détriment des itérations de type « *churn* »[110].

- *Stratégie de conception séquentielle :* Une stratégie alternative à la *coopération* est la conception séquentielle. En effet, des travaux [Bhuiyan et al. 04] [Loch et Terwiesch 98] préconisent qu'en cas de contexte d'incertitude importante (variation, complétude ou sensibilité élevée), les risques d'itération sont très importants pour qu'un recouvrement des activités soit possible. Pour réduire ces risques, il est plus prudent d'exécuter les activités suivant une stratégie séquentielle. Autrement dit, il s'agit de diffuser les objets intermédiaires dans leurs états finaux.

Cas 2.4 : L'objet OI1 est au moins « modérément instable », au moins « partiel » et l'activité 2 est au moins « faiblement sensible » (V_OI1≤ 2, C_OI1≥ 2 et S ≥ 1). Dans le cas où l'utilisation de OI1 requiert une complétude élevée (partiel ou complet), des remises en cause des valeurs de ce dernier risquent non seulement d'être *fréquentes* (V_OI1≤ 2) mais aussi de *durée importante* (C_OI1≥ 2). Ainsi par rapport au cas de complétude faible (Cas 2.3), les stratégies de diffusion de l'information amont doivent être également choisies en fonction du risque de retard encouru en amont[111]. Par conséquent, quand la sensibilité en aval est faible (1er ligne du tableau 11), et la variation amont est modérée ou élevée (1ere et 2ième colonnes du tableau 11), il est plus intéressant d'adopter une diffusion de recouvrement

[109] Une équipe multi métier dédiée représente une organisation des acteurs qui permet des interactions tout au long de l'activité considérée.
[110] Ce sont les itérations effectuées au sein d'une équipe multi métiers pendant une coopération.
[111] Une complétude élevée implique des itérations amont longues et ainsi un retard de retraitement considérable dans l'activité amont. Ce retard peut être transmis ou pas en aval, cela dépend du degré de sensibilité de l'activité en aval.

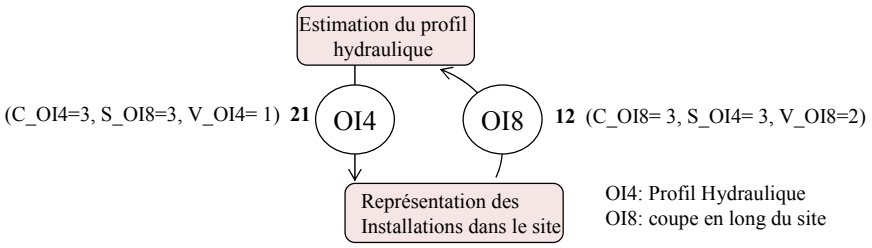
distributif plutôt qu'une diffusion itérative. Cependant, si la variabilité est faible (1ière colonne du tableau 11) et la sensibilité est modérée ou élevée (2ième et 3ième colonne du tableau 11), la diffusion anticipée semble être une meilleure stratégie.

7.3.2 Cas de dépendance couplée et interdépendance

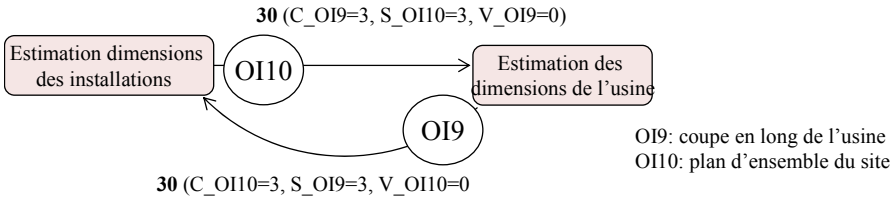
Par rapport au cas de dépendances simples, les dépendances couplées et les interdépendances sont caractérisées par des liens de retours en arrière modérés ou forts respectivement. Les itérations de retours en arrière, dans ce cas, sont fort probables.

Comme exemples d'illustration prenons les situations de couplage de la figure 76a ci-dessous. L'organisation de la diffusion des informations entre les deux activités couplées, est effectuée en deux étapes. La première étape consiste à appliquer les stratégies de diffusion (tableau 11) des objets intermédiaires appartenant aux liens de dépendance directe. La seconde étape porte sur l'application des stratégies de diffusion sur les objets appartenant aux liens de retours en arrière.

En appliquant ces deux étapes à l'exemple de la figure 76a, l'organisation de la diffusion de l'objet OI4 est effectuée selon un *recouvrement anticipé* (figure 77a). En effet, la variation de l'objet OI4 est faible (V=3), la complétude de OI4 requise par l'activité en aval est forte (C=3) et la sensibilité de l'activité en aval est élevée (S=3). La diffusion de l'objet OI8 est organisée selon *une conception séquentielle* (figure 77b) car la variation de l'objet OI8 en aval est élevée (V=1), la complétude de OI8 requise par l'activité en amont est forte (C=3) et la sensibilité de l'activité en amont est élevée (S=3).



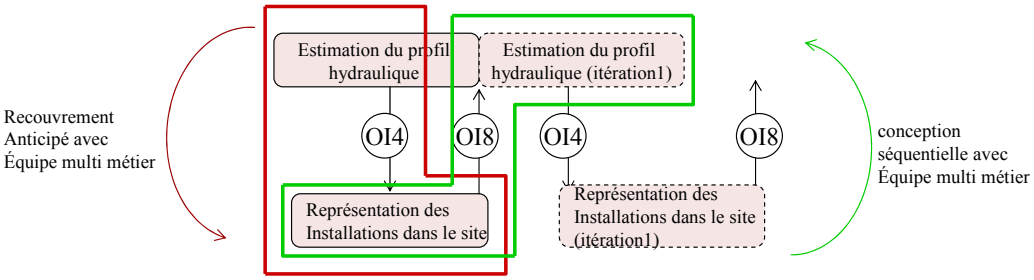
76a Exemple de couplage



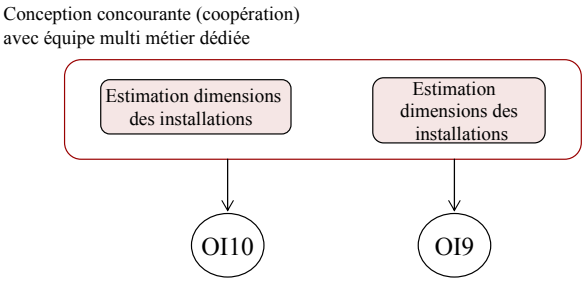
76b. Exemple d'interdépendance

Figure 76 Exemples de couplage et d'interdépendance entre activités

Dans le cas de l'interdépendance (figure 76b), les deux liens directs et de retour en arrière étant forts, deux stratégies de diffusion sont possibles : une stratégie *séquentielle* ou une stratégie de *coopération* (figure 77b). Adopter l'une ou l'autre des stratégies de diffusion dépend de l'objectif visé par le chef de projet à savoir de diminuer le temps de conception (*coopération*) ou de diminuer les efforts (*conception séquentielle*).



77a Exemple de stratégies de diffusion dans le cas de couplage



77b Exemple de stratégie de diffusion dans le cas d'une interdépendance

Figure 77 Stratégies de diffusion proposées

A travers les approches d'organisation présentées ci-dessus, nous avons défini pour chaque couple d'activités dépendantes, couplées ou interdépendantes et pour chaque objet intermédiaire (dans le lien de dépendance), une stratégie de diffusion afin de réaliser des itérations de conception réduites et une durée de conception minimale.

Nous soulignons le fait que ces diffusions portent sur des objets en état de trace habilitée ou de livrable et qui sont diffusés dans l'espace projet.

La plupart des stratégies proposées ci-dessous correspondent à des approches de recouvrement (ou de chevauchement des activités). Des études montrent que le taux de recouvrement joue un rôle primordial dans la réduction du temps [Cooper et al. 1993] [Joglekar et al. 01].

Cependant, proposer une stratégie de diffusion basée sur le seul recouvrement peut avoir des effets négatifs sur les efforts[112] et peut ne pas changer le temps de conception. En effet, des études menées par Swink [Swink et al. 1996] et par Bhuiyan, Gewin et Thomson [Bhuiyan et al. 04] montrent que l'augmentation des interactions multidisciplinaires, étant données un contexte d'incertitude, réduit les risques d'itérations de conception. Cela est dû au fait que ces interactions permettent la prise en compte des contraintes en aval et par conséquent, la diminution du temps de conception.

Par ailleurs, l'augmentation du taux d'interaction peut être aussi accompagné de l'augmentation des efforts. Les auteurs [Bhuiyan et al 04] suggèrent aussi qu'au-delà d'un certain seuil d'interaction, les effets négatifs sur les efforts et le temps commencent à l'emporter sur l'effet positif qui consiste à réduire les itérations de conception. Cette observation nous semble pertinente dans la mesure où elle met en évidence les risques encourus à analyser le processus selon le paramètre de recouvrement. Le taux des interactions multidisciplinaires, c'est-à-dire les coopérations, est aussi important à considérer dans la gestion du processus de conception.

Dans la partie §7.4 suivante, nous décrivons le modèle de planification du processus de conception. Ce modèle a pour objectif de répondre aux contraintes de temps et d'efforts en conception. Les différentes valeurs des critères de maturité décrites ci-dessus sont prises en compte dans l'estimation des paramètres du modèle. Ces paramètres sont le *taux de recouvrement* et le *taux d'interactions multidisciplinaires*. Ces derniers ont une implication directe sur l'incidence des *itérations de type « churn »* et les *itérations de conception*.

[112] L'effort de conception peut être mesuré en hommes/jour ou en hommes/mois etc. seuls les efforts de coordination interne (par opposition aux coordinations inter organisations) sont considérés.

7.4 Vers une optimisation de la planification du processus basée sur la maturité des flux d'information

Les analyses effectuées dans les précédents chapitres et dans les parties précédentes de ce chapitre, permettent de répondre aux questions suivantes :

- Quelles informations faut-il considérer dans le processus dont l'amélioration de la diffusion impacte le processus ?
- A quel état de maturité et comment organiser la diffusion de ces informations ?

Dans cette partie, nous tentons de répondre à la question de savoir comment faut-il organiser ces diffusions durant le processus de conception afin d'atteindre les attentes en matière de temps et d'efforts de conception ?

Ce modèle de gestion de la coordination a beaucoup de point commun avec les travaux de Joglekar [Joglekar et al. 01], de Bhuiyan, de Gerwin et de Thomson [Bhuiyan et al 04]. Cependant le modèle proposé s'applique à un niveau de conception plus opérationnel, et est plus détaillé d'un point de vue contenu des informations échangées (dans les modèles de gestion les informations sont généralement implicites).

Le modèle de gestion de la coordination est construit sur la base des critères de maturité : variation, sensibilité et complétude. En effet, outre la fréquence des itérations de conception (induites par la sensibilité), la fréquence des itérations amont (induite par la variation), il faut considérer l'amplitude des itérations amont (induite par la complétude).

L'hypothèse principale dans ce modèle est que la diminution de la durée et des efforts de la conception au niveau de chaque collaboration permet la réduction de la durée/effort globale du processus de conception. Ce modèle se veut plus contextuel, il s'adapte à chaque couple d'activités planifiées et pour chaque OI identifié dans le processus. L'état de maturité des objets est supposé de trace habilitée ou de livrable.

La présentation du modèle est effectuée de manière graduelle. Nous mettons d'abord en avant l'ensemble des objectifs à atteindre, ensuite nous présentons les différents paramètres de gestion, leur évolution et leur interaction. Enfin, nous présenterons notre analyse de l'impact des paramètres sur les objectifs considérés.

7.4.1 Objectifs à atteindre

Pendant la phase d'avant projet, les acteurs (le chef de projet, en l'occurrence) sont souvent préoccupés par deux critères de performance qui sont la durée estimée du projet (T*) et l'effort de conception (E*). L'effort de conception est représenté par le nombre de personnes nécessaires pour l'exécution d'une activité planifiée pendant une unité de temps : jour, semaine ou moins.

Plusieurs méthodes dans la littérature de gestion sont utilisées pour l'estimation de ces grandeurs, telle que : l'estimation par analogie, l'estimation paramétrique, etc. Selon notre expérience (en tant qu'observateur) des avant-projets de conception, l'estimation de ces critères (temps et efforts) représente une difficulté majeure en pré conception. Souvent le chef de projet fait appel aux expériences passées, à des catalogues de projets, etc.

Estimer le temps de projet et les efforts revient à avoir une certaine connaissance sur la définition et l'organisation du projet, c'est-à-dire sur les objectifs de conception à atteindre (les concepts produit), les phases et activités associées, les livrables attendus, etc. ce que nous supposons dans notre travail de recherche.

L'intérêt est donc de proposer une organisation des activités de conception de manière à réaliser un temps et des efforts qui s'approchent au plus des estimations initiales T* et E*. Nous verrons dans la partie §7.5.4 que cela revient à gérer des itérations « version de conception » et des itérations de type « churn ».

7.4.2 Hypothèses du modèle

Le modèle de processus considéré représente un modèle théorique constitué de plusieurs activités planifiées, chacune d'elles contribue à l'effort total du processus avec un volume donné. Nous supposons que chaque activité oeuvre pour la diminution de l'effort de l'activité qui lui est couplée ou interdépendante[113]. Nous supposons également que l'exécution concourante (recouvrement et interactions multidisciplinaires) des activités a probablement pour conséquence de diminuer les efforts liés aux itérations de conception entre les deux activités.

[113] Le cas de dépendance simple est plus simple. L'effort engendré par les deux activités représente l'addition des deux efforts.

Une autre hypothèse considérée dans ce modèle est que les efforts mobilisés pendant une activité planifiée du processus correspondent aux efforts de résolution de problème de conception[114], aux efforts dus aux interactions multidisciplinaires[115] et aux efforts de traitements des itérations de conception. En outre, nous considérons seulement les efforts associés à une équipe interne[116].

7.4.3 Paramètres du modèle

Les critères de maturité (*variation, sensibilité et complétude*), le taux d'interaction et le taux de recouvrement sont les principaux paramètres de gestion retenus dans ce travail.

Le taux d'interactions multidisciplinaires (noté α dans la figure 78) correspond à un pourcentage de temps d'une activité de conception. Ce pourcentage de temps est nécessaire pour la coopération des acteurs associés aux activités dépendantes [Bhuiyan 04]. Le taux de recouvrement (noté β dans la figure 78) correspond également à un pourcentage de temps d'une activité de conception. Cette fraction de temps correspond à la durée nécessaire pour le recouvrement de deux activités dépendantes [Joglekar et al 01] [Bhuiyan 04]. La durée de recouvrement est donc la durée ($\beta \times d$).

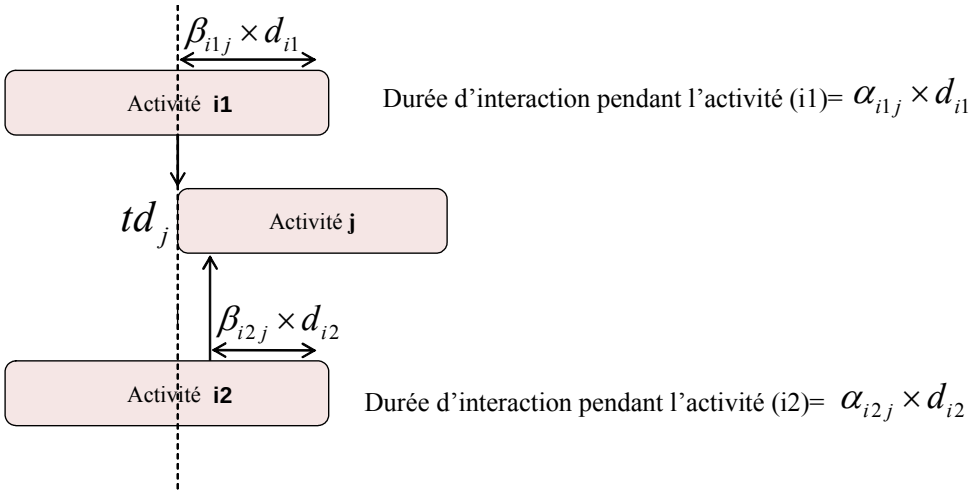


Figure 78 Taux de recouvrement et taux d'interactions multidisciplinaires entre activités dépendantes

[114] Cette notion est équivalente à l'effort de résolution de problème d'ingénierie développé par Gomes et Joglekar [Gomes et Joglekar 06] qui représente l'effort nominal (sans interactions) dépensé pendant une activité.
[115] Cette notion est équivalente à l'effort de coordination interne dans [Gomes et Joglekar 06]
[116] Une équipe projet interne à une entreprise. Les partenariats et la sous traitance ne sont pas considérés dans ce modèle. Seules les efforts de coordination internes à une équipe projet appartenant à une même entreprise, sont considérés.

Des méthodes qualitatives ont été développées afin d'estimer les taux d'interaction et les taux de recouvrement entre des activités du processus [Swink et al. 1996] [Bhuiyan et al 04]. Les interactions multidisciplinaires ont été déterminées à partie de projets de conceptions réels. A l'aide de questionnaires (sous forme de tables), les auteurs relevaient les différents métiers (et fonctions) des acteurs intervenant à chaque activité du processus. Le type et la fréquence d'interaction y sont également associés. Les mêmes tables sont remplies pour indiquer le taux avec lequel les phases doivent se recouvrir.

Une échelle de quatre valeurs arbitraires est associée à chaque taux *:*

- *nulle (0%), faible (25%), moyenne (50%) et dédiée (100%)*[117] sont les différentes valeurs dédiées au taux d'interaction α , et

- *nul (0%), faible (33%), moyen (66%) et élevé (100%)*[118] sont les différentes valeurs associées aux taux de recouvrement[119] β.

Notons que chaque couple (α ,β) est associé à un objet intermédiaire devant être diffusé d'une activité en amont à une activité en aval, ou d'une phase amont à une phase en aval.

7.4.4 Liens entre paramètres et objectifs de gestion

L'objectif à travers ce paragraphe est la description des liens existants entre les paramètres : *critères de maturité, taux de recouvrement et taux d'interaction*, afin de réaliser une *durée* de conception et/ou un *effort* de conception réduit.

D'après les travaux d'observation et de simulation sur le processus de conception de produit [Swink et al. 1996] [Bhuiyan 01, 04], des résultats sur l'évolution du temps et des efforts en fonction des valeurs de α et de β, ont été proposés. Ces résultats ont été confrontés à des projets de conception réels observés dans sept compagnies différentes[120]. Ils ont été également comparés à des travaux de simulation de processus de conception de produit [Burton et Obel 1995, Carley 1996]. Plusieurs cas de variation et de sensibilité sont pris en compte. Nous présentons ces principaux résultats dans les points suivants.

---

[117] Ces pourcentages du taux d'interaction sont pris arbitrairement pour quantifier les niveaux nul, faible, moyen et élevé.

[118] Ces pourcentages du taux de recouvrement sont repris du travail de Bhuiyan et al. [Bhuiyan et al. 04] et sont chois pour quantifier les niveaux : nul, faible, moyen et élevé.

[119] Les pourcentages du taux d'interaction repris du travail de Bhuiyan et al. [Bhuiyan et al. 04] et sont chois pour quantifier les niveaux : nul, faible, moyen et élevé.

[120] Boeing, Cummins, Thomson, Texas Instruments, etc.

1. Une augmentation de α diminue l'effort et le temps de conception. Cela est dû au fait que l'augmentation des interactions multidisciplinaires (ou des coopérations) implique moins d'itérations de conception[121] et par conséquent une diminution de l'effort global. Cependant, à partir d'un certain seuil du taux d'interaction[122], augmenter le taux d'interaction augmente les efforts (cf. Annexe 7). En effet, augmenter α implique une augmentation des itérations de *type « churn »* dans l'activité amont. Dépasser un certain seuil, ces itérations augmentent l'effort total et éventuellement le temps de projet.

Il est donc recommandé de ne pas dépasser un faible taux d'interaction (par exemple de 25%) dans le cas de forte variabilité et de ne pas dépasser un taux moyen d'interaction (par exemple de 50%) dans le cas de variation faible à modérée (cf. Annexe 7).

2. Une augmentation du taux de recouvrement β, pour un taux d'interaction α « nul », n'est pas recommandée car cela n'induit aucun changement sur le temps de développement mais par contre peut augmenter les efforts en conception (cf. Annexe 7). Ceci s'explique par le fait que, d'une part, augmenter le recouvrement diminue la probabilité d'itération de conception (car plus de validations intermédiaires) et donc diminue le temps de développement mais d'autre part, augmenter le taux de recouvrement implique qu'une grande partie des activités (amont/aval) est refaite dans le cas où une itération de conception arrive (ce qui est fort probable puisque le taux d'interaction est nul). Dans ce cas, le temps de conception et les efforts peuvent (car plus de répétition). L'effet positif combiné avec l'effet négatif sur le temps fait que l'augmentation du taux de recouvrement β avec un taux d'interaction α nul n'a aucun effet sur le temps, par contre peut augmenter les efforts (cf. Annexe 7).

3. Pour un taux d'interaction non nul ($\alpha \neq 0$), l'effet de l'augmentation du taux de recouvrement β dépend des valeurs des critères : *variation et sensibilité*. En effet, pour des valeurs faible à modérée de ces critères (cases en bleu et en blanc dans les figures 79 et 80), augmenter β (taux de recouvrement) implique une diminution des efforts et du temps de développement car cela induit une faible probabilité de répétition des activités et une exécution partielle et parallèle des activités. Cependant, pour des valeurs élevées de la

[121] Augmenter α_{ij} implique plus de contraintes en aval qui sont prises en compte en amont et donc moins d'itération de conception.

[122] α ≥25% pour une variabilité élevée et α ≥50% pour une variabilité faible.

variation et de la sensibilité (S=2, 3 et V=1, 2), augmenter β implique une forte probabilité d'itération de conception et de fortes fréquences de changement de l'information en amont. Ce qui implique des efforts supplémentaires et une éventuelle augmentation du temps (cf. Annexe 7). Il est donc recommandé d'augmenter le taux de recouvrement β dans le cas où les valeurs des variations et des sensibilités sont faibles à modérées et de le diminuer dans le cas contraire (figure 79). Ce qui concorde avec le constat fait par plusieurs auteurs [Smith et Eppinger 1997] [Loch et al. 1998] [Terwiesch 02] sur le fait que des stratégies de recouvrement sont recommandées ($\beta \neq 0$) dans les cas d'incertitude *faible*, alors qu'une stratégie de conception séquentielle ou de coopération ($\beta = 0$) est plus appropriée dans le cas *d'incertitude élevée.*

Les résultats de la figure 79, sont vérifiés dans le cas où la complétude est faible (C=1) c'est-à-dire dans le cas où seules la variation et la sensibilité sont considérées parmi les critères de la maturité. Dans notre travail, nous considérons également les valeurs de la complétude.

Impact de l'incertitude faible

	V=3	V=2	V=1
S=1	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$ $(\beta = 0)^*$
S=2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 66\%$	_	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$
S=3	$\alpha = 100\%$ $(\alpha = 50\%)^*$ $\beta = 66\%$ $(\beta = 33\%)^*$	$\alpha = 100\%(\alpha = 25\%)^*$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$

Impact de l'incertitude modérée **C=1** **Impact de l'incertitude élevée**

Figure 79 Impact de la combinaison des taux de recouvrement et d'interaction en cas de faible complétude [Bhuiyan et al.04][123]

Dans le cas d'une complétude modérée à élevée (C=2 ou 3) (figure 80), les itérations en amont sont d'amplitude importante (de durée importante). Quand ces dernières arrivent, cela peut induire un retard dans l'activité amont plus ou moins important. Ainsi en fonction de la probabilité d'incidence des itérations amont, c'est-à-dire en fonction de la variation de l'information amont, l'impact de la complétude devient plus ou moins important. Donc plus la variation est élevée et la complétude est élevée, plus les risques de retard et d'effort sont importants en amont (figure 80).

[123] Les « étoiles » représentées dans les tableaux des figures 80 et 81 correspondent aux cas ou l'effort total est optimisé. Dans les autres cas, le temps de projet est optimisé.

Il est donc recommandé dans ce cas (complétude modérée à élevée) d'avoir des taux d'interaction α plutôt faible en cas de forte variation (figure 80).

Par ailleurs, plus la sensibilité de l'activité en aval est élevée, plus cette activité va être impactée par le retard amont en cas de forte complétude. Il est donc recommandé de diminuer le taux de recouvrement β avec l'augmentation de la sensibilité en aval (figure 80).

Impact de l'incertitude faible

	V=3	V=2	V=1
S=1	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$ ($\beta = 0\%$)*
S=2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 33\%$	–	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$
S=3	$\alpha = 100\%$ ($\alpha = 50\%$)* $\beta = 33\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$

Impact de l'incertitude modérée **Impact de l'incertitude élevée**

C=2

80a Complétude modérée

Impact de l'incertitude modérée

	V=3	V=2	V=1
S=1	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$ ($\beta = 0\%$)*
S=2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 33\%$	–	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$
S=3	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$

Impact de l'incertitude élevée

C=3

80b Complétude élevée

Figure 80 Impact de la combinaison des taux de recouvrement et d'interaction en cas de forte complétude

Il est à noter que contrairement aux résultats de la figure 79, les résultats de la figure 80 n'ont pas fait l'objet d'une simulation ou de validation. Ces résultats sont obtenus des analyses que nous avons effectuées à partir des résultats de simulations et d'observations obtenus dans [Bhuiyan et al. 04] et dans [Swink et al. 1996] et à partir de notre compréhension des liens entre les différents critères de maturité. Les taux ne sont qu'à titre indicatif et représentent des tendances plutôt que des valeurs exactes. La figure 80 montre des tendances de stratégies de planification en cas de forte immaturité du flux d'information.

En résumé, augmenter le taux de recouvrement, pour un taux d'interaction donné, peut avoir des effets positifs ou négatifs sur les critères de performance, cela dépend de la maturité (*stabilité, variabilité et complétude*). Pour une maturité faible, augmenter le taux de

recouvrement (avec un taux d'interaction donné) induit, généralement, une faible réduction de l'effort et une réduction du temps de développement [Terwisch et al. 1999] [Terwisch 2002] [Bhuiyan et al 04]. Par contre, pour une maturité élevée, une augmentation du taux de recouvrement (avec un taux d'interaction donné), implique une augmentation de l'effort et une faible réduction du temps de développement.

Nous modélisons les paramètres, le taux d'interaction et le taux de recouvrement, en fonction des maturités d'entrée (complétude et sensibilité) et des maturités de sortie (variation) sous la forme du modèle UML ci-dessous.

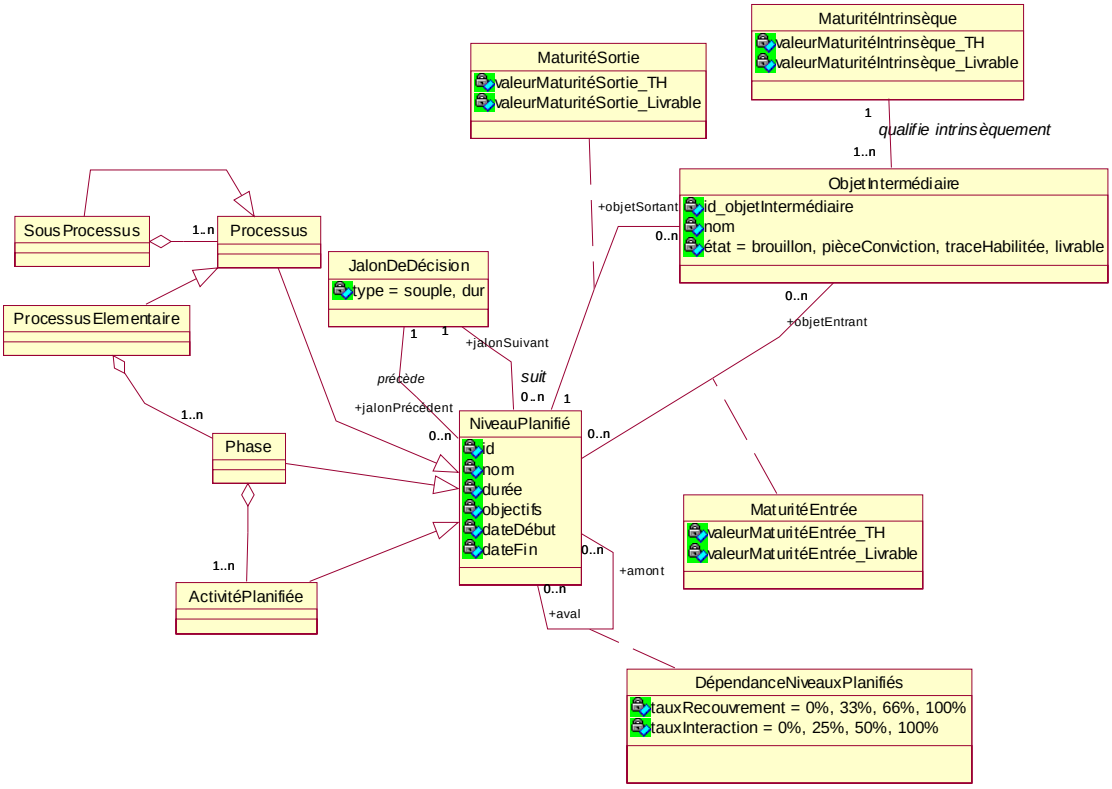


Figure 81 Taux de recouvrement et taux d'interaction et critères de maturité

7.5 Conclusion

Ce chapitre propose une démarche de spécification des modes de collaboration (coordination, et coopération), d'organisation/de réorganisation du processus de conception afin d'optimiser la planification en fonction de la maturité du flux informationnel. Cette approche consiste en

un certain nombre d'étapes telles que : l'estimation du degré de dépendance, l'identification des stratégies de diffusion et l'évaluation des taux de recouvrement et des taux d'interaction. Outre la gestion a priori du processus, ce chapitre présente des éléments pertinents de décisions pour un meilleur déroulement du processus de conception collaborative.

Par exemple, la définition des stratégies de diffusion des objets intermédiaires incitent les membres de l'équipe projet à coordonner leurs activités afin d'atteindre les maturités nécessaires à la diffusion (de trace habilitée ou de livrable).

Toutes ces propositions se basent sur le concept de maturité qui intègre les deux dimensions : l'incertitude (à travers les critères de maturité de sortie) et l'usage (à travers les critères de maturité d'entrée) des informations dans le processus de conception.

La démarche proposée repose sur un certain nombre de pré requis. Pour identifier les réseaux de dépendance, les organiser et pour proposer des stratégies de diffusion des objets intermédiaires, il est supposé qu'une identification a priori de l'ensemble des éléments : objets, activités, critères de maturité, valeurs des maturités, etc. soit possible. Or ce n'est pas toujours le cas dans un processus de conception de produit.

Le modèle de planification des activités et l'estimation des paramètres de performance (temps et efforts) se basent sur des résultats de recherches expérimentales. Une partie de ces résultats a fait l'objet de validation (figure 79) [Swink et al. 1996] [Bhuyian et al. 04]. D'autres résultats restent des hypothèses à tester et à valider dans des situations de conception réelles, notamment la considération de la complétude comme un troisième paramètre important pour l'estimation des taux de recouvrement et des taux d'interaction.

Enfin, nous avons tenté par la présente démarche d'étendre les démarches de coordination présentées dans la littérature (§. 3.2). Par exemple, à travers les états de trace habilitée nous considérons l'aspect social des échanges d'information dans la coordination des activités.

Partie IV. Mises en œuvre du cadre de la collaboration en conception de produits

Le but de cette partie est de présenter deux mises en oeuvre du cadre collaboratif proposé dans les chapitres précédents.

Il s'agit dans un premier temps de proposer le prototype PIQUANT dédié à la gestion de la collaboration dans les processus de conception de produit. Notre intérêt par cette présentation porte principalement sur l'illustration des différents concepts avancés dans la partie II Le chapitre 8 porte donc sur la spécification de l'outil, sur la mise en avant de ses principales fonctionnalités et sur sa mise en application dans une situation de conception réelle au CIH.

Dans un deuxième temps (chapitre 9), nous proposons une démarche permettant la capitalisation des connaissances acquises pour renseigner un tel système. Cette démarche est représentée sous forme d'un catalogue de patrons dédié à l'analyse des systèmes de gestion des informations immatures dans le contexte de conception de produit. Elle permet aux entreprises une utilisation plus efficace de systèmes de gestion tels que PIQUANT.

Chapitre 8 : Prototype d'un outil dédié à la conception collaborative

Développé dans le cadre du projet région ISOCELE[124] comme démonstrateur des concepts proposés dans la présente thèse, l'outil *PIQUANT*[125] permet d'illustrer les mécanismes de partage d'informations, de publication et de qualification de l'information. En effet, les informations peuvent être échangées dans différents espaces de travail correspondants à des modalités d'action différentes. Des indicateurs ou critères de maturité peuvent être définis et associés aux objets échangés. L'outil associe l'information à la planification des projets, facilitant l'identification des activités collaboratives critiques qui présentent des risques de coordination importants.

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes fonctionnalités du prototype PIQUANT (§8.1). Ensuite, nous exposons brièvement les phases de conception et de développement de cet outil (§8.2). Une application d'un scénario de conception amont de produit hydroélectrique est proposée dans la partie §8.3. La partie §8.4 clôture ce chapitre avec des analyses des fonctionnalités offertes par l'outil PIQUANT et leurs confrontations aux fonctionnalités identifiées pour les outils supports de la collaboration (§3.5).

8.1 Principales fonctionnalités

L'objectif du prototype PIQUANT est de vérifier les spécifications définies dans les chapitres précédents. Il repose sur les différents concepts proposés dans cette thèse, à savoir : les *objets intermédiaires, la maturité, les espaces de travail* et les modes *planifiés* et *non planifiés* de l'activité de conception. A travers ces concepts, nous avons identifié six fonctionnalités principales :

1. La création et la représentation des critères de maturité. Cela permet de paramétrer les critères de maturité et de les adapter au contexte de la conception (projet, produit, équipe projet, etc.)

[124] Ingénierie des Systèmes d'information Ouverts pour la Co-conception Exploitant L'Expérience (http://gilco.inpg.fr/intranet/Sisco/9-projets/Isocele/).
[125] Preliminary Information QUAlification within Networked Team

2. Le partage des objets intermédiaires dans différents espaces de travail (public, projet et proximité). Cela permet de gérer la diffusion des objets intermédiaires immatures dans le processus de conception.

3. L'utilisation des critères de maturité. La caractérisation d'un objet intermédiaire par son producteur/émetteur et sa qualification par son utilisateur permet aux acteurs de définir conjointement la maturité de l'objet intermédiaire qu'ils partagent.

4. L'identification des objets intermédiaires critiques ainsi que des activités planifiées critiques (coordonnées par les OI critiques). Cela permet aux responsables (par exemple le chef de projet) d'identifier les points critiques dans le processus et de préconiser une exécution ou une ré-exécution des activités de conception.

5. La création et la gestion d'espaces de proximité. Cela permet à un contributeur du projet d'exposer un problème et de confronter sa solution à d'autres points de vue dans un réseau de confiance.

6. la construction de la maturité d'un objet intermédiaire dans les espaces autonomes. Cela permet une co-construction de la valeur de maturité et la prise en compte des paramètres de conception.

L'accès à l'application PIQUANT s'effectue à travers l'identification d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe. Chaque acteur a le droit d'accéder aux projets de conception auxquels il appartient (figure 82). Plusieurs rôles sont définis : l'administrateur, le chef de projet, le responsable d'une activité planifiée, l'hôte et l'invité (cf. §8.2.1).

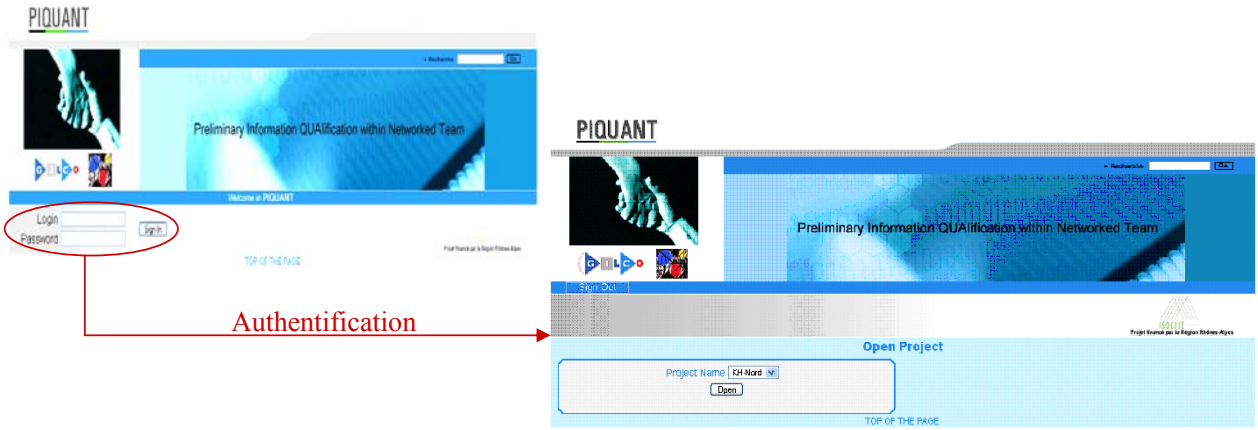


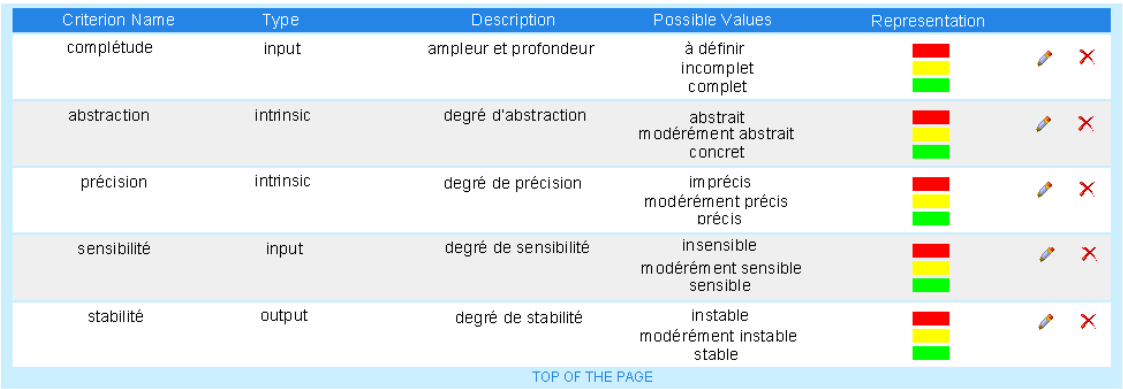
Figure 82 Pages d'accueil de l'application PIQUANT

8.1.1 Paramétrages des critères de maturités

L'une des fonctionnalités proposées dans la partie administration est le paramétrage des critères de maturité. En effet, après s'être identifier, l'administrateur peut, entre autre, créer des critères de maturité en définissant leur nom (stabilité, précision, sensibilité, complétude, etc.), leurs types (output, intrinsèque ou input), leur description ainsi que le mode de leur représentation (icône, couleur, pourcentage, etc.) (figure 83a).

Les critères de maturité sont consensuels au sein de l'équipe projet. Ils représentent la compréhension des acteurs des critères de qualification d'une information de conception. Toutefois, trois types de critères demeurent génériques pour n'importe quel contexte de conception : la maturité input (critères d'usage), la maturité intrinsèque et la maturité output (critères d'incertitude) (figure 83b). Par contre, le type des critères de maturité peut être adapté.

Figure 83a



Criterion Name	Type	Description	Possible Values	Representation
complétude	input	ampleur et profondeur	à définir incomplet complet	
abstraction	intrinsic	degré d'abstraction	abstrait modérément abstrait concret	
précision	intrinsic	degré de précision	imprécis modérément précis précis	
sensibilité	input	degré de sensibilité	insensible modérément sensible sensible	
stabilité	output	degré de stabilité	instable modérément instable stable	

TOP OF THE PAGE

Figure 83b

Figure 83 Définition des critères de maturité dans le prototype PIQUANT

8.1.2 Espaces de travail collaboratif

Les critères de maturité représentent le moyen avec lequel un acteur du projet gère la diffusion d'un objet intermédiaire. Ainsi selon les modalités d'action que l'acteur envisage sur l'objet et en fonction des valeurs des critères de maturité, l'acteur s'engage à le diffuser ou non dans un espace de travail collaboratif donné (public, projet ou proximité).

Par exemple, si un membre du projet souhaite confronter son point de vue à d'autres points de vue ou exposer un problème de conception (modalité de persuasion, de vérification, etc.), il va ouvrir un espace de proximité (figure 84 à gauche) dans lequel il invite des acteurs[126]. Cependant, si l'acteur juge que l'objet intermédiaire est assez mature (il a atteint au moins la maturité attendue par son utilisateur), il va appliquer une modalité de mise en accord avec l'utilisateur de l'objet (figure 84). Cela permet de fixer une maturité de trace habilitée nécessaire pour la circulation de l'objet dans l'espace projet sans risques importants de conflits ultérieurs ou de remise à jour.

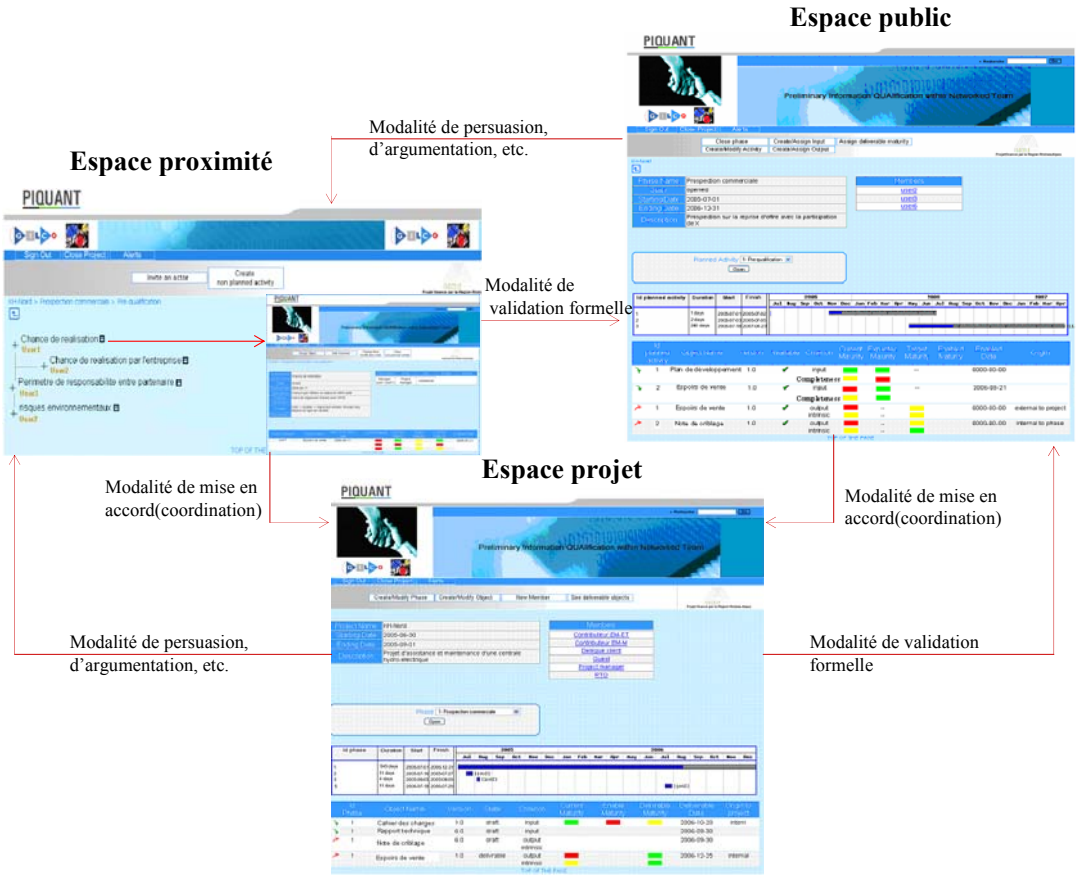


Figure 84 Gestion de la diffusion des OI dans les différents espaces de travail

[126] Ces acteurs peuvent être des experts d'un domaine donné ou acteurs utilisateurs/producteurs des objets intermédiaires associés au problème posé (cf. §7)

A la fin du processus, une fois que toutes les activités sont réalisées avec succès, les acteurs publient dans l'espace public les livrables dont ils sont responsables. Ces objets intermédiaires fermés vont faire l'objet de vérification et de validation par la hiérarchie (modalité de validation formelle) (figure 84 à droite).

8.1.3 Usage des critères de maturité dans l'espace projet

Comme il est cité ci-dessus, PIQUANT offre la possibilité de définir les deux dimensions de la maturité : l'incertitude (maturité output et maturité intrinsèque) et l'usage (maturité input). L'incertitude est définie par l'acteur émetteur sur l'objet intermédiaire requis à la sortie de son activité (figure 85b). Cependant, l'usage est défini par l'utilisateur sur l'objet intermédiaire requis à l'entrée de son activité (figure 85a).

Nous notons que dans l'espace projet, l'émetteur et l'utilisateur de l'objet ont la possibilité de définir leurs objectifs en matière de maturité. En effet à travers les formulaires de la figure 85, l'utilisateur définit le niveau de la *maturité attendue* de l'objet requis pour le démarrage de son activité (figure 85a) et l'émetteur définit le niveau de la *maturité cible* de l'objet qu'il peut fournir à la fin de son activité (figure 85b).

Les valeurs de la maturité attendue, sont exprimées à la fois par l'utilisateur de l'objet via les critères de maturité input (point (1) de la figure 85a) et par l'émetteur de l'objet via les critères de maturité output et intrinsèque. Les valeurs des critères « output » et « intrinsèque » sont déduites par l'émetteur après consultation des valeurs des critères « input » (voir le point (1) de la figure 85b). Inversement, les valeurs de la maturité cible sont exprimées à la fois par l'émetteur de l'objet via les critères « intrinsèque » et « output » (point (2) dans la figure 85b) et par l'utilisateur de l'objet via les critères « input » (point (2) de la figure 85a).

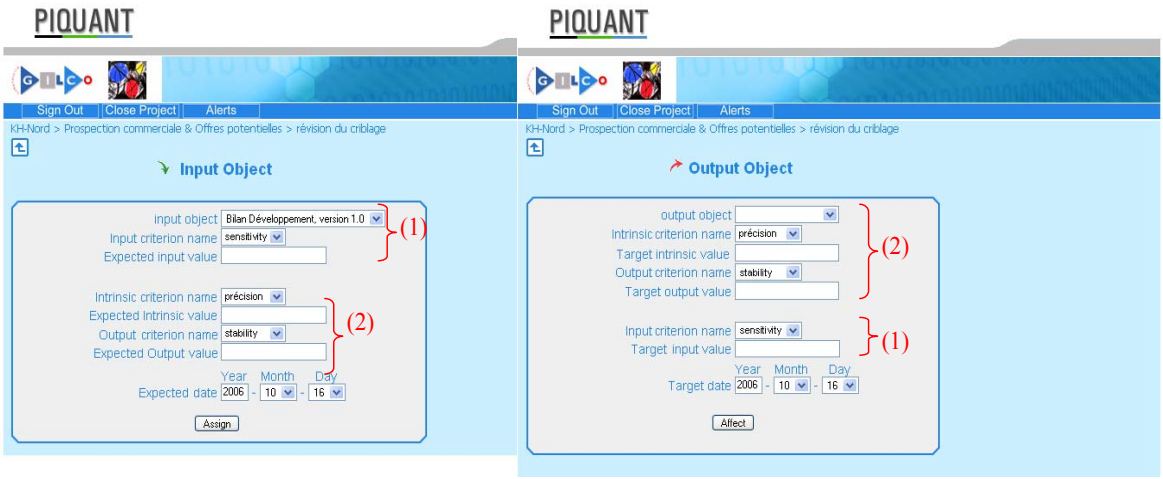


Figure 85a Définir la maturité attendue d'un objet **Figure 85b Définir la maturité cible d'un objet**

Figure 85 Caractérisation et qualification d'un objet dans l'espace projet

Il est évident que des écarts entre la maturité cible et la maturité attendue sont possibles. L'intérêt est de permettre aux deux parties de se mettre d'accord sur une maturité *trace habilitée*. Cela dit, si un tel compromis n'est pas réalisé, les acteurs se trouvent devant une situation critique (figure 86).

Une situation critique dans PIQUANT correspond à des objets intermédiaires critiques et par conséquent à des activités planifiées critiques. Un objet intermédiaire critique est celui qui correspond, par exemple, à un objet dont les valeurs des critères de maturité attendues et cibles ne sont pas cohérentes ou à un objet dont les valeurs de maturité en cours ne correspondent pas aux valeurs prévues pour sa diffusion dans les espaces formels (projet ou public) et ce à l'approche de sa date de diffusion (figure 86).

Pour remédier à ce problème, les acteurs peuvent reconsidérer les maturités, les objets intermédiaires ou les activités planifiées associées. Cela n'est possible que si l'identification des objets critiques se fait à temps, c'est-à-dire avant les dates de fin des activités planifiées. Ainsi, les mécanismes de caractérisation et de qualification, dans l'espace projet, permettent l'identification des objets/activités critiques.

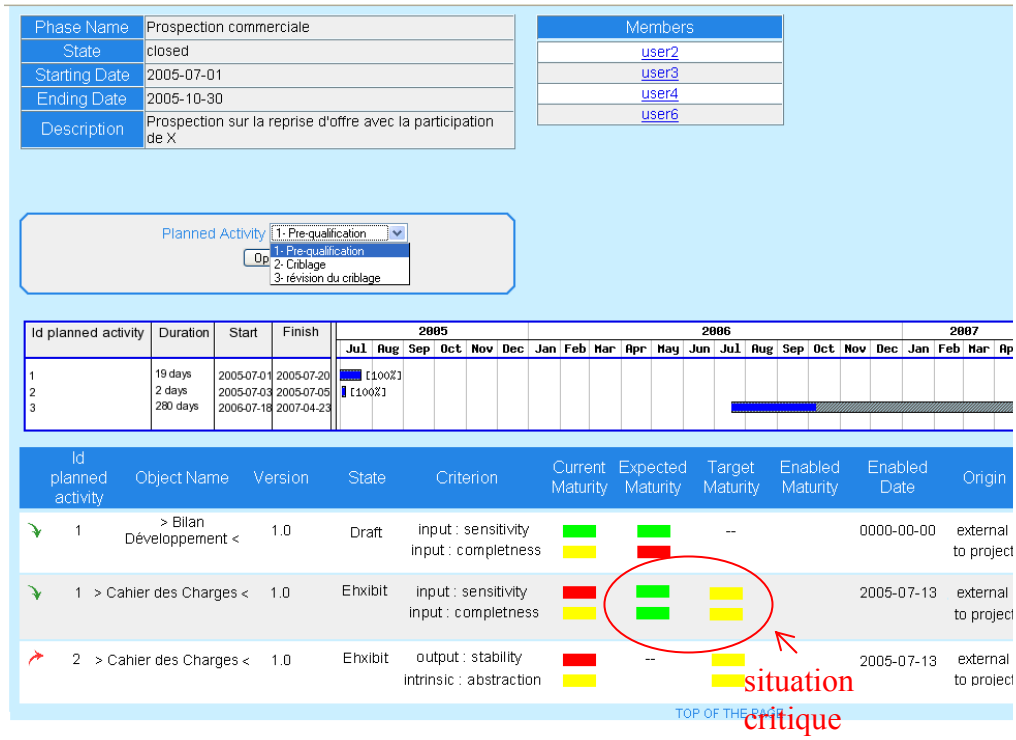


Figure 86 l'identification des objets/activités critiques dans l'espace projet

8.1.4 Espace de proximité

Afin de permettre une gestion autonome et non planifiée de l'activité de conception, l'outil PIQUANT est doté d'une fonctionnalité de création d'espace de proximité. En effet, à partir de l'interface de description d'une activité planifiée (figure 87), la fonctionnalité « ouvrir un espace de travail proximité » (*Open proximity workspace*) permet à un contributeur de l'activité planifiée d'ouvrir son propre espace de collaboration.

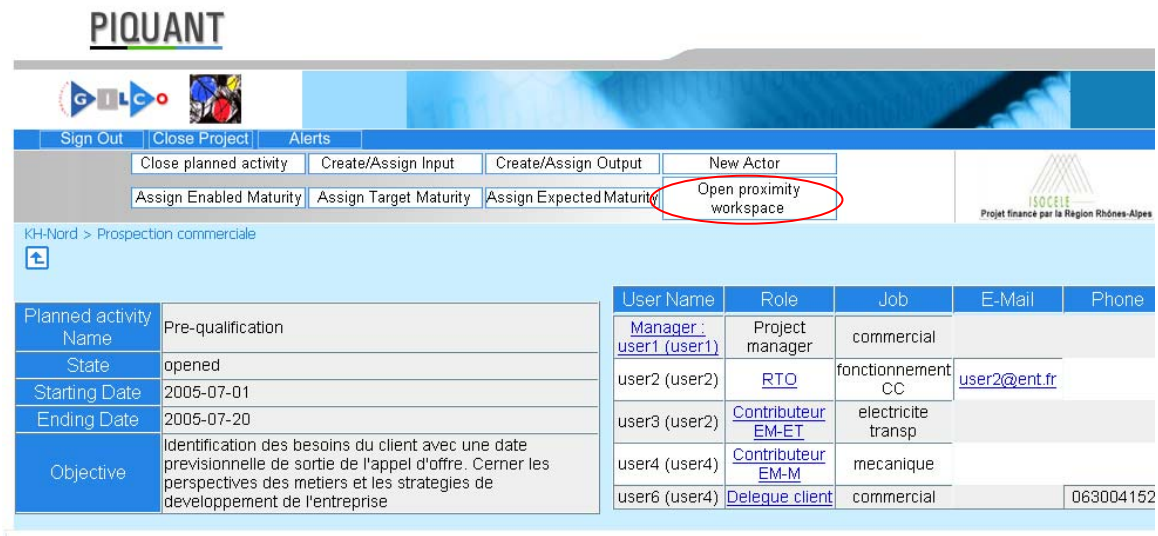


Figure 87 Création d'un espace de proximité à partir de l'espace projet

Nous rappelons que l'espace de proximité est un espace de coopération, doté de quatre dimensions d'information : acteurs, processus, problème et objet intermédiaire (cf. §7.3). Ces informations ont pour mission d'aider les contributeurs à se synchroniser cognitivement (cf. §7.1) et à se coordonner localement (cf §7.2).
Dans le prototype PIQUANT, les interfaces des figures 88 et 89 ci-dessous, présentent ces catégories d'information.

L'espace commun (entre l'hôte et ses invités) représenté dans la figure 88, constitue un espace où les acteurs peuvent poser des questions, proposer des solutions, argumenter leurs choix, etc. en créant des *activités non planifiées*. L'enchaînement des activités non planifiées ainsi que les noms des intervenants sont représentés sous la forme d'un arbre, où la racine représente la source de la discussion. Chaque intervenant peut réagir par rapport à n'importe quelle activité non planifiée. Pour ce faire, il peut soit créer une nouvelle activité non planifiée (via le bouton « *Create non planned activity* »), soit rajouter un commentaire sur l'une des activités exposée (via le bouton « *Add comment* »).

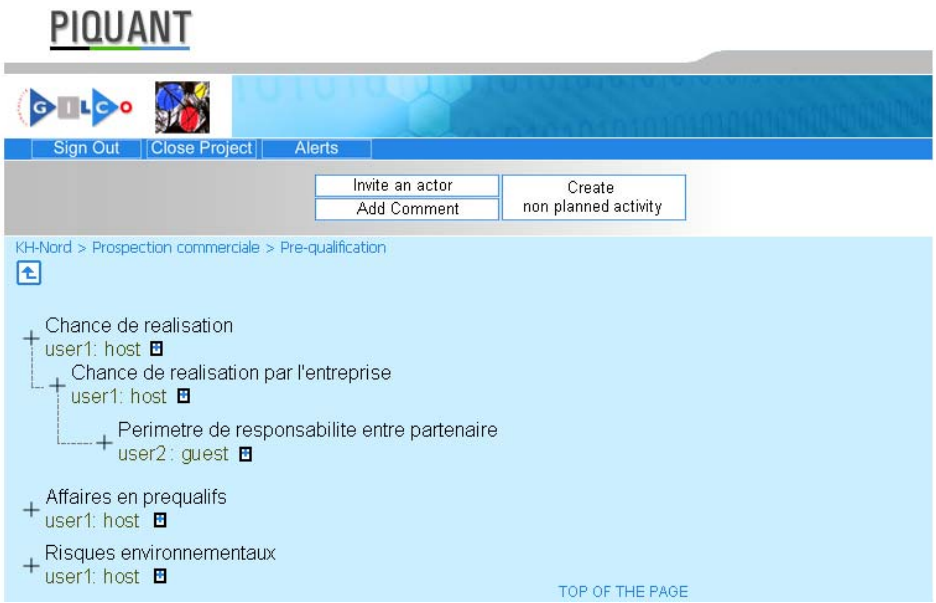


Figure 88 Espace de proximité

Deux rôles principaux sont représentés dans cet espace : l'*hôte* (*host*) et l'*invité* (*guest*) (figure 88).

Un invité peut être un expert d'un domaine technique ou un membre de l'équipe projet dont l'activité planifiée dépend des objets intermédiaires manipulés dans l'espace de proximité.

Par ailleurs, notons qu'une activité non planifiée est sous la responsabilité d'un seul intervenant (cf. §7.3.4). L'outil PIQUANT offre une interface (activité non planifiée) dédiée à chaque intervenant (figure 89). Cette dernière est un espace est à la fois individuel mais aussi partagé par l'ensemble des intervenants de l'espace de proximité.

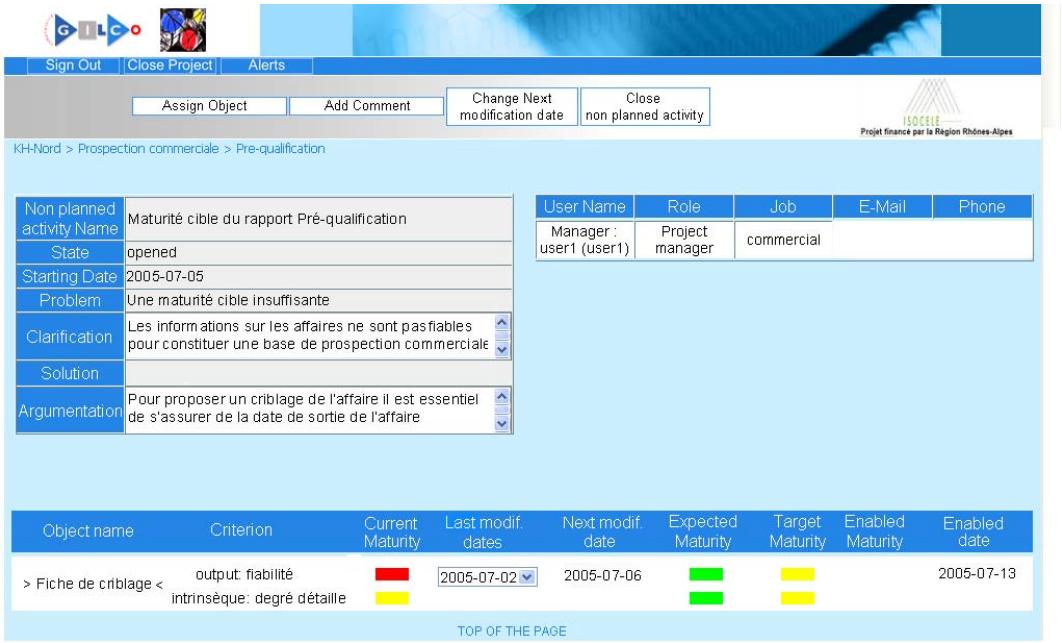


Figure 89 Espace de proximité : activité non planifiée

Dans l'interface ci-dessus, nous identifions quelques informations provenant de l'espace projet. En effet, nous retrouvons les maturités attendues, cibles et traces habilitées des objets intermédiaires ainsi que leurs dates de diffusion définis dans l'espace projet. Ce type d'information permet aux intervenants de l'espace de se coordonner localement (§7.2), c'est-à-dire de fixer les prochaines dates de modification, d'estimer ou modifier les maturités attendues ou cibles, d'inviter d'autres acteurs dans l'espace, etc.

D'autres fonctionnalités importantes dans l'espace de proximité sont celles qui portent sur la gestion des objets intermédiaires. En effet, à travers l'interface de l'activité non planifiée, il est possible de proposer des dates de prochaines modifications de l'objet, de suivre toutes les dates de ses modifications, de rajouter des commentaires et de suivre sa maturité en cours[127].

[127] La maturité en cours représente la maturité actuelle de l'objet intermédiaire. Dans l'espace de proximité, cette maturité correspond à une maturité de pièce à conviction et dans l'espace projet, elle correspond à la maturité trace habilitée, etc.

8.1.5 Définition et usage de la maturité dans l'espace de proximité

A partir de n'importe quel espace de travail, notamment l'espace de proximité, il est possible d'accéder (en cliquant sur le nom de l'objet) à une interface descriptive de l'objet intermédiaire (figure 90). Cette page comporte trois parties. L'entête représente des informations générales sur l'objet intermédiaire (nom, date de création, date de prochaine modification, état de l'objet, acteur créateur de l'objet, etc.). La deuxième et la troisième partie constituent une représentation des valeurs en cours des critères de maturité. La deuxième partie représente les valeurs en cours des critères de maturité output et intrinsèque estimées par l'émetteur de l'objet intermédiaire. La troisième partie constitue la liste des valeurs en cours des critères de maturité input estimées par les utilisateurs de l'objet.

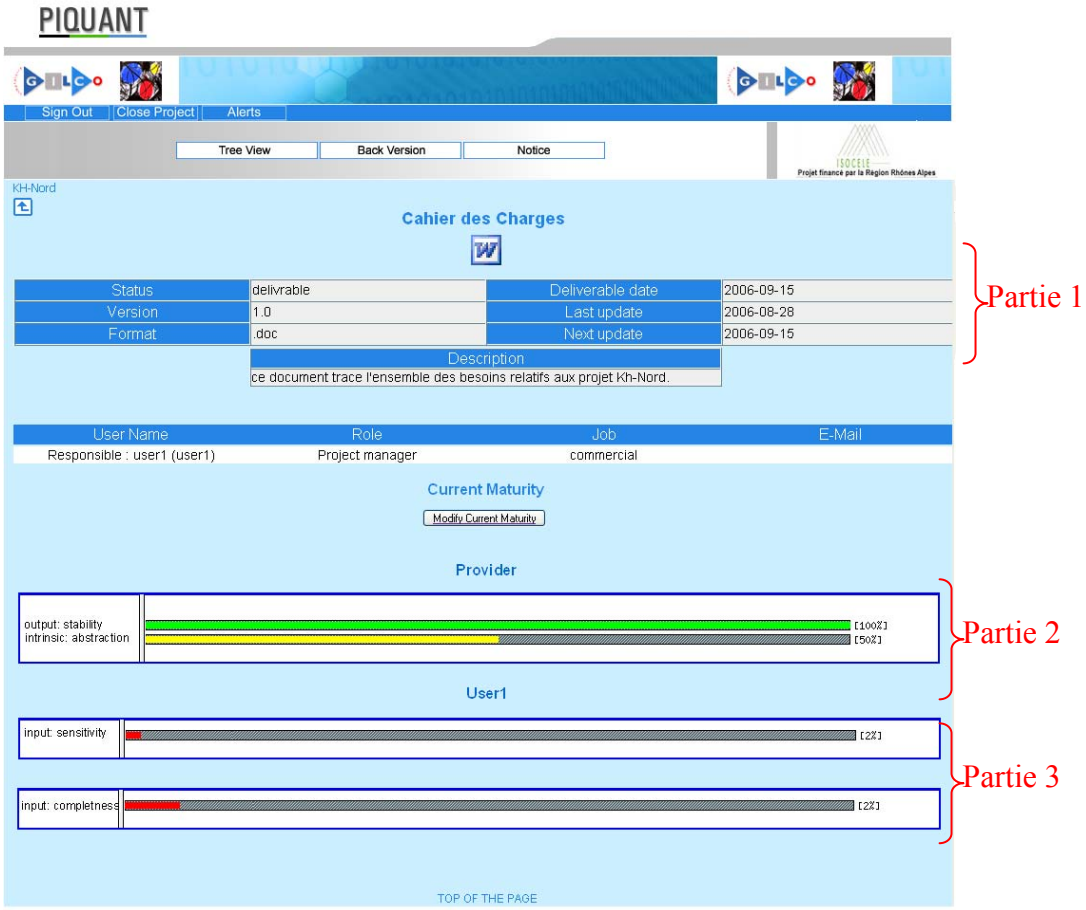


Figure 90 Interface de description d'un objet intermédiaire

Pour un émetteur comme pour un utilisateur de l'objet intermédiaire, il est possible, à partir de la page ci-dessus, de créer ou de modifier la maturité en cours. En cliquant sur le bouton « *Modify Current Maturity* » (figure 90). L'acteur accède au formulaire de la figure 91. Ce

bouton n'est accessible qu'à partir de l'espace de proximité. Cela afin de restreindre les modifications des maturités en cours dans les espaces de proximité et d'éviter de les faire dans les espaces formels. La partie haute du formulaire de la figure 91 est dédiée à l'émetteur de l'objet et la partie basse aux utilisateurs de l'objet.

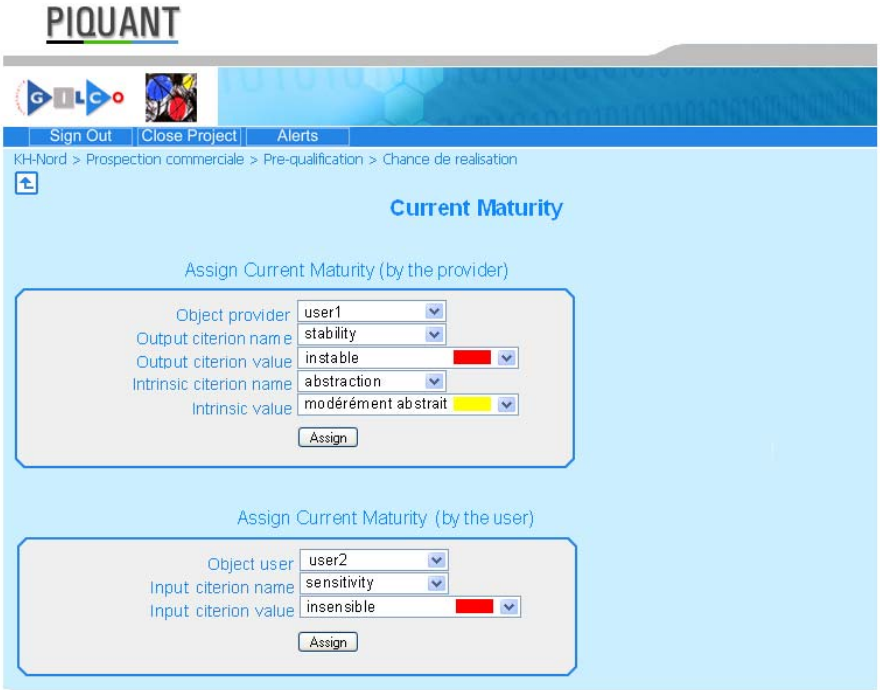


Figure 91 Définition des valeurs en cours de la maturité d'un OI dans l'espace de proximité

Nous avons vu dans les chapitres précédents (cf. §5) que selon les besoins, un objet intermédiaire peut être caractérisé par des paramètres de conception dont certains sont au centre de coopérations entre les acteurs. A partir de la page de description d'un objet intermédiaire (figure 90), il est possible de visualiser ou de modifier un paramètre de conception. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur le bouton « Tree View » dans la barre d'outil (figure 90). On accède ainsi à la page de la figure 92 ci-dessous.

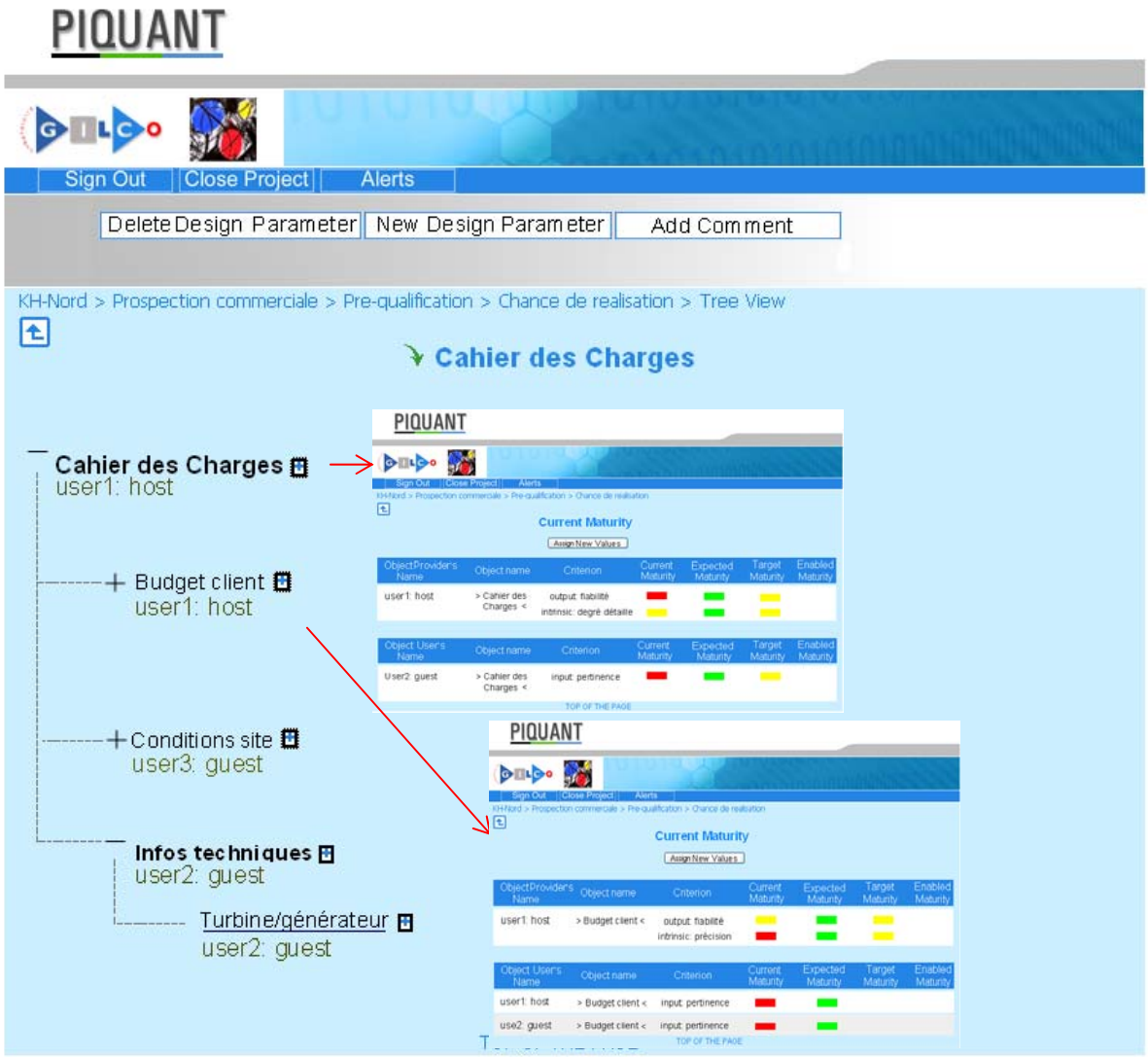


Figure 92 Construction de la maturité dans l'espace de proximité

Dans la figure ci-dessus, un lien signifie qu'un élément de l'arbre est caractérisé par un autre élément du même arbre. C'est-à-dire, les liens entre le nœud racine (cahier des charges) et les sous nœuds (budget client, conditions du site et informations techniques) signifient que l'objet intermédiaire (la racine) est caractérisé par des paramètres de conception (les nœuds fils). Un lien entre un nœud père et un nœud fils parmi les sous noeuds de l'arbre (entre informations techniques et turbine/générateur) signifie qu'un paramètre de conception est caractérisé par d'autres paramètres de conception.

Cette vue en arbre de l'objet intermédiaire permet aux participants d'un espace de proximité de construire la maturité de l'objet intermédiaire de manière conjointe à travers les maturités d'un certain nombre de paramètres de conception. Chaque contributeur à l'espace (invité ou

hôte) peut qualifier un paramètre de conception (en cliquant sur le + à droite du nom du paramètre).

Aussi l'intérêt de cette interface est non seulement la construction conjointe des valeurs de maturité de l'objet considéré mais aussi la possibilité de visualiser les paramètres de conception critiques. Ces derniers impliquent des valeurs importantes des critères input (dont la couleur est rouge) et/ou ont des valeurs de maturités attendues et cibles qui sont incohérentes. Exemple : les valeurs de maturité attendue et cible du paramètre « budget client » dans la figure 92).

8.2 Conception et développement du prototype PIQUANT

Après avoir exposé les différentes interfaces de PIQUANT (cf. §8.1), dans cette partie nous présentons brièvement les étapes de conception et de développement de ce dernier. Ces étapes ont été effectuées lors de stages de licence professionnelles en informatique [Lopes 05] [Darud 06]. Nous résumons ces étapes dans les parties ci-dessous.

Avant d'entamer les spécifications, nous tenons à exposer les différents acteurs et rôles définis dans ce système. Un contributeur au système peut être un membre du projet (*ProjectMember*), un membre n'appartenant pas au projet (*ProjectGuest*) ou l'administrateur du système (*Administrator*). Un membre du projet peut être le chef de projet (*ProjectManager*) ou un autre contributeur du projet (*ProjectContributor*). Un responsable d'une activité planifiée (*PlannedActivityResponsable*) est un membre du projet. N'importe quel contributeur peut être un invité (*Guest*) ou un hôte (*Host*) dans le système PIQUANT (figure 93).

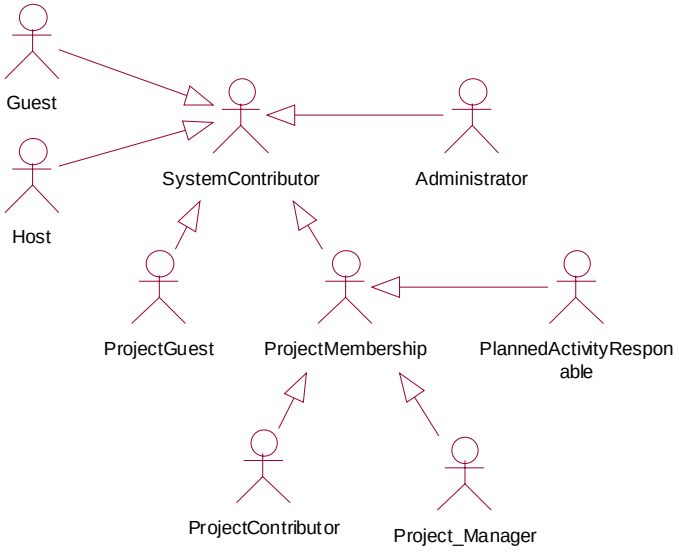


Figure 93 Les différents rôle dans le système PIQUANT

8.2.1 Cas d'utilisation

Il s'agissait de définir les frontières du système PIQUANT, c'est-à-dire les différents cas d'utilisation et rôles joués par les acteurs. Certains cas d'utilisation et rôles portent sur la partie prédéfinie du système (espace public et espace projet), d'autres sont émergeants (espace proximité). Nous présenterons les différents cas d'utilisation suivant ces deux parties : planifiée et non planifiée.

Partie planifiée

Le rôle d'administrateur du système PIQUANT permet de déclarer les projets, les membres du projet, les rôles dans le projet et les *critères de maturité* (figure 94).

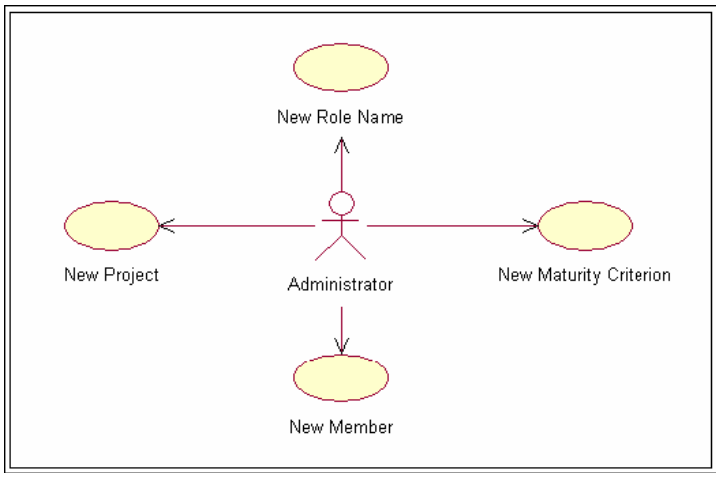


Figure 94 Le rôle de l'administrateur

A travers le système PIQUANT, le chef de projet sélectionne son projet, créé les phases du projet et choisit les membres qui vont y participer (figure 95). Une fois que les phases sont créées, il peut affecter des objets entrants/sortants et définir les *maturités livrables* associées (figure 95). Nous rappelons que ces maturités correspondent aux jalons durs du processus. Ils permettent de diffuser les objets intermédiaires dans l'espace public. Une fois toutes les phases terminées, et après consultation et acceptation de sa hiérarchie, le chef de projet déclare le projet fermé (figure 95).

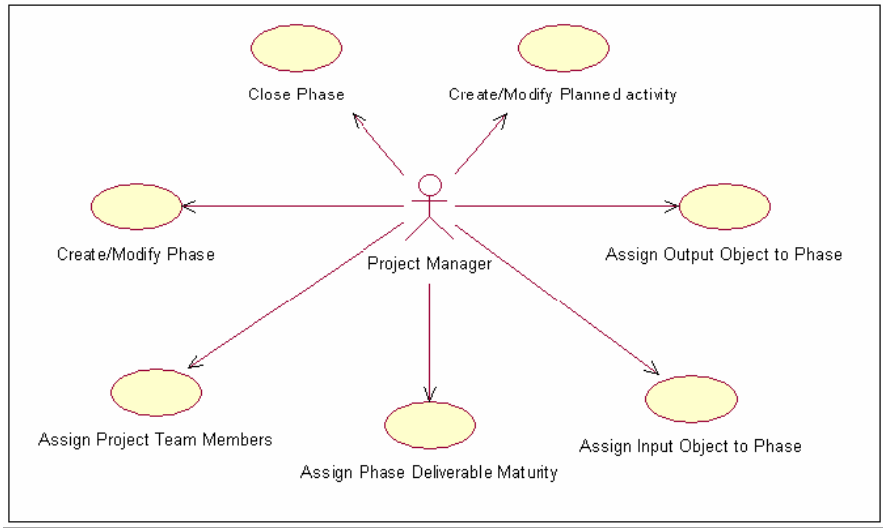


Figure 95 Le rôle du chef de projet

Le chef de projet, selon les besoins du projet, peut également décomposer les phases en activités planifiées (figure 95).

Une fois l'équipe projet définie, chaque membre se trouve affecté d'un rôle précis dans le projet (ingénieur environnement, projeteur génie civil, etc.). Certains acteurs sont désignés comme responsables des activités planifiées. Le statut de responsable d'activité planifiée doit donner à son acquéreur un certain nombre de rôles à jouer (figure 96). En effet, ce responsable peut ouvrir une activité planifiée, affecter des objets en entrée et en sortie d'une activité, valider les *maturités traces habilitées* et les dates de leur diffusion, etc.

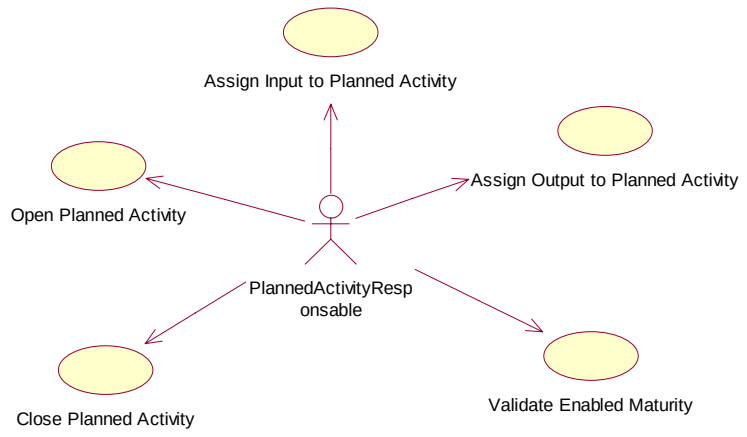


Figure 96 Le rôle du responsable d'une activité planifiée

Nous rappelons que la *maturité de trace habilitée* renvoie à un jalon souple du processus. Cet état permet la diffusion d'un objet intermédiaire dans l'espace projet. Nous avons vu précédemment, que l'état de trace habilitée représente un compromis entre l'état de *maturité cible* et l'état de *maturité attendue* (cf. §8.1) défini par les émetteurs et les utilisateurs de l'objet (figure 97).

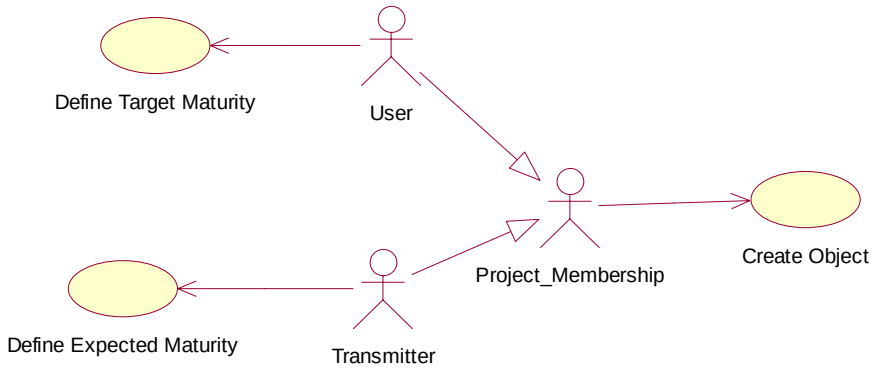


Figure 97 Le rôle d'un membre contributeur de l'équipe projet

Partie non planifiée

Dans la partie §8.1, nous avons vu que tout acteur membre de l'équipe projet peut créer un espace de proximité et devenir un hôte (figure 98). Le hôte peut inviter d'autres acteurs (*Guest*) qui ne sont pas forcément de l'équipe projet. Il peut également fermer un espace de proximité. Le hôte qui est un utilisateur ou un émetteur d'objet intermédiaire, est responsable de la valeur en cours des critères de maturités. C'est le hôte qui définit la valeur de la maturité

en cours (figure 98). L'hôte ainsi que les invités peuvent associer des objets intermédiaires, créer des activités non planifiées, se coordonner sur les dates de diffusion et rajouter des commentaires (figure 98).

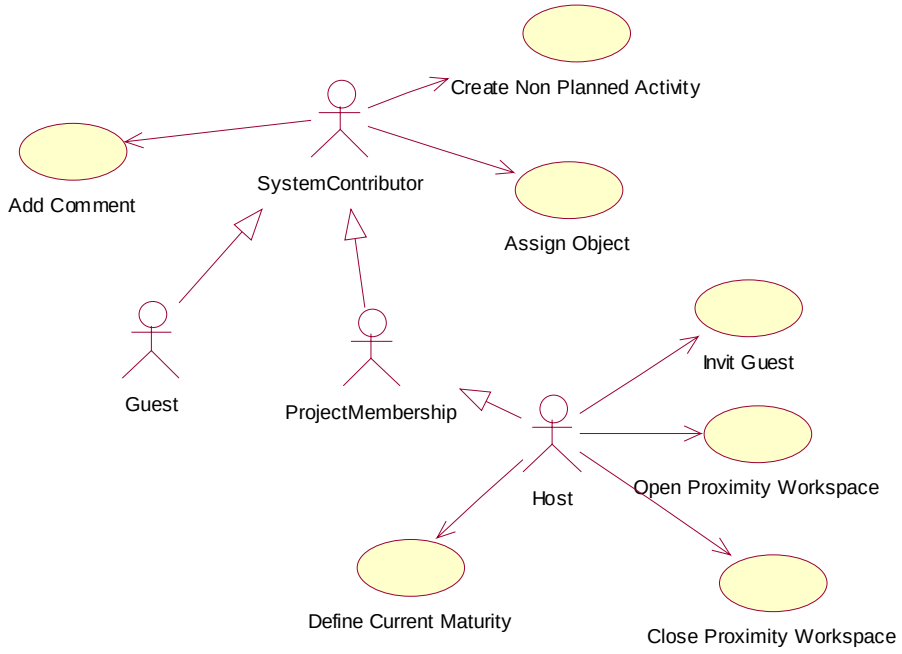


Figure 98 Le rôle des acteurs hôte et invité dans l'espace de proximité

8.2.2 Diagrammes de séquences

Chaque cas d'utilisation dans le diagramme de cas d'utilisation obtenu apparaît comme un scénario qui peut être documenté au moyen de diagrammes de séquence. Nous illustrons cette imitation sur deux cas d'utilisation du diagramme de la figure 99.

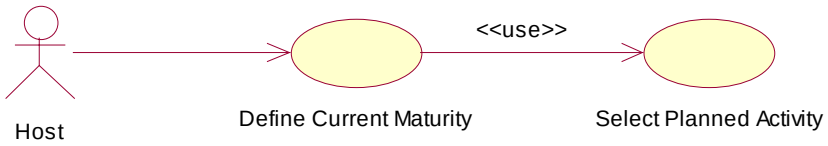


Figure 99 Le rôle d'un hôte dans l'estimation des valeurs en cours de la maturité

Définir la maturité en cours d'un objet intermédiaire revient à instancier les valeurs : *input_value, intrinsic_value* et *output_value* (figure 100). Ces valeurs représentent des instanciations des attributs des classes : *planned_input_object_maturity, intrinsic_maturity* et *planned_output_object_maturity* (cf. §8.2.3). Ces attributs sont appelés à évoluer durant le processus de conception. Ils caractérisent l'état d'un objet intermédiaire à un instant donné du processus. L'association des valeurs de la maturité en cours se fait donc en deux parties : la

partie input par l'utilisateur de l'objet puis, les parties output et intrinsèque par l'émetteur de l'objet.

Plusieurs diagrammes de séquences peuvent documenter un Use Case. Nous présentons les deux diagrammes principaux (figure 100 et figure 101). D'autres diagrammes de séquences, notamment ceux de définition des maturités output et intrinsèques, sont présentés dans l'annexe 8.

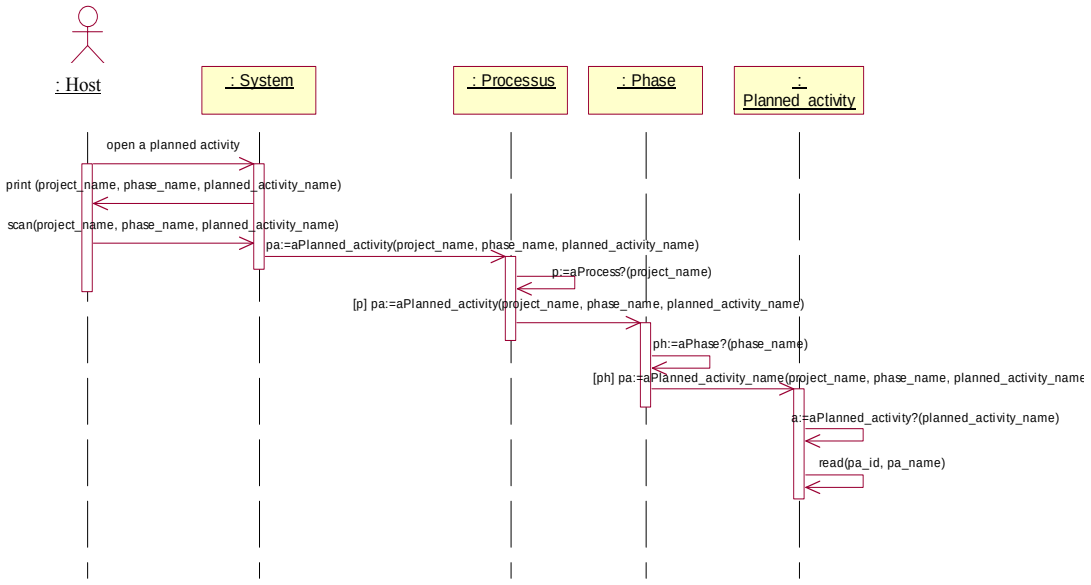


Figure 100 Scénario de sélection d'une activité planifiée

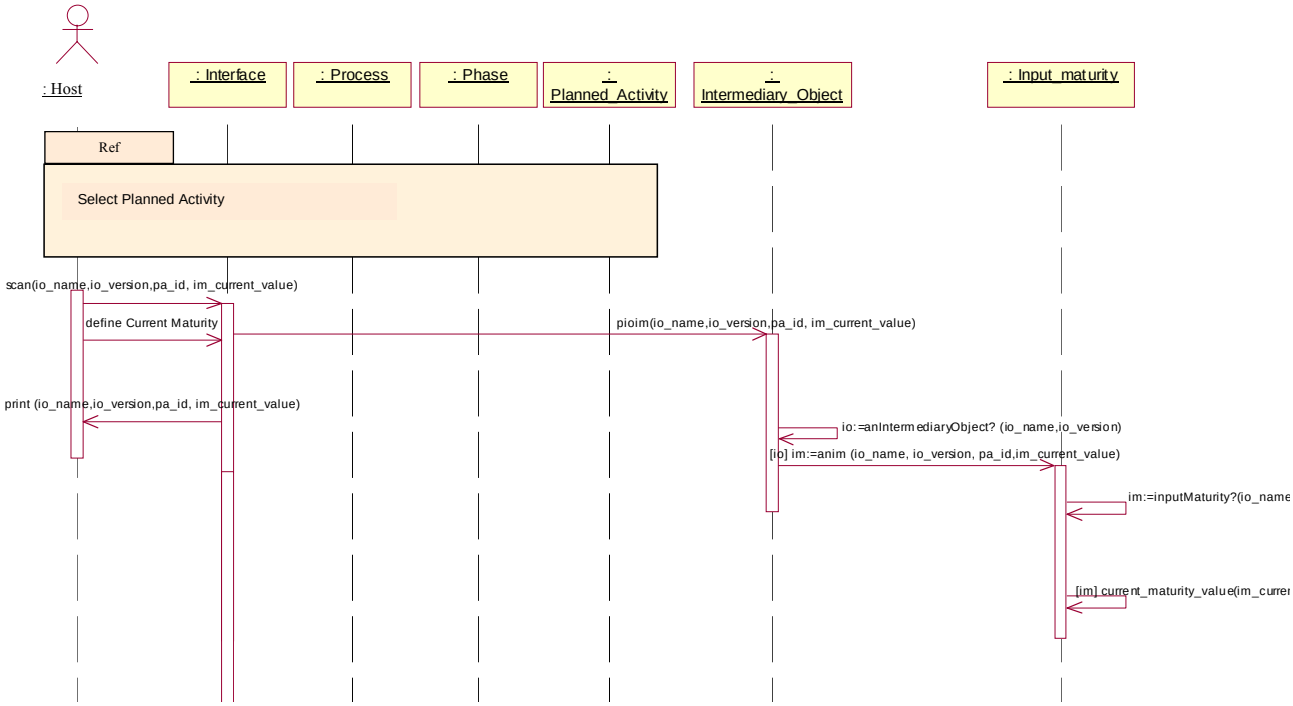


Figure 101 Scénario de définition des valeurs en cours des critères de maturité input

La description de ces scénarios est présentée en trois rubriques : les pré-conditions, le déroulement des scénarios et les post-conditions.

Pré conditions

Pour réaliser les scénarios du cas d'utilisation *« define Current Activity »*, il faut avant tout se positionner dans une activité planifiée, c'est-à-dire appliquer le scénario du diagramme de séquence d'ouverture d'une activité planifiée de la figure 100 et obtenir l'identifiant « *pa_id »*. Ensuite, pour procéder à la réalisation du cas d'utilisation, le système a besoin en entrée d'un acteur qui a pour rôle « utilisateur de l'objet », de la valeur de la maturité input (*im_current_value)*, du nom de l'objet (*io_name*) et de sa version (*io_version*) (figure 101).

Déroulement du scénario (figure 101)

Le hôte demande au système de définir la maturité input en cours. Le système affiche alors, via une requête, le formulaire de renseignements qui va lui permettre de réaliser cette action. Le hôte remplit les informations souhaitées – nom de l'objet intermédiaire, sa version, ainsi que la valeur input. Une fois ces informations validées, le système lance la procédure de définition de la maturité input en cours. Pour ce faire, il envoie un message à l'objet (au sens UML) *Intermediary_Object* afin de sélectionner l'instance dont la clé « *io_name1 » et*

« io_version1 » a été saisie par le hôte. Ensuite, en utilisant la valeur « *pa_id1 »* de l'attribut « *pa_id »* déduite de l'ouverture de l'activité planifiée (figure 100), il s'agit de sélectionner l'instance de l'objet *« Input_Maturity »* dont la valeur de la clé est composée des valeurs *« io_name1 », « io_version1 »* et *« pa_id1 ».* Le système affecte la valeur *« im_current_value1 »* à l'attribut *« im_current_value »* de la classe *« Input_Maturity ».* Une fois l'affectation effectuée, le système renvoie un message de confirmation.

Post-conditions

Une fois le scénario déroulé, le système enregistre la mise à jour de l'instance de la classe « *Input_Maturity ».*

8.2.3. Modèle conceptuel

Les diagrammes de séquence associés aux cas d'utilisation permettent l'identification des objets et donc des classes, des attributs, des liens entre les objets et des méthodes de classes. Au fur et à mesure de la réalisation des diagrammes ci-dessus, nous avons construit un diagramme de classe. La totalité de ce diagramme est présentée dans l'annexe 8.

Par exemple, l'identification du cas d'utilisation *« définir la maturité en cours »* (figure 99) permet de spécifier des scénarios d'utilisation présentés dans les diagrammes de séquences des figures 100 et 101. Ces diagrammes de séquences mettent en avant le fait que l'affectation d'une valeur à la maturité input revient à la définition d'un certain nombre d'objets et donc de classes telles que : le « *Processus » (Process),* la « *Phase »*, *« l'activité Planifiée »* (*Planned_Activity*), « l'o*bjet intermédiaire »* (*Intermediary_Object*) et *« la maturité input »* (*Input_Maturity*) (figure 102). Les messages représentés dans le diagramme de séquence constituent les méthodes associées aux classes. Par exemple, la méthode *pioim( )* nécessaire pour l'affectation de la valeur de la maturité input à un objet en entrée d'une activité planifiée, est l'une des opérations définies dans la classe *« objet intermédiaire »* (figure 102). L'existence de messages entre objets révèle l'existence d'association entre les classes considérées.

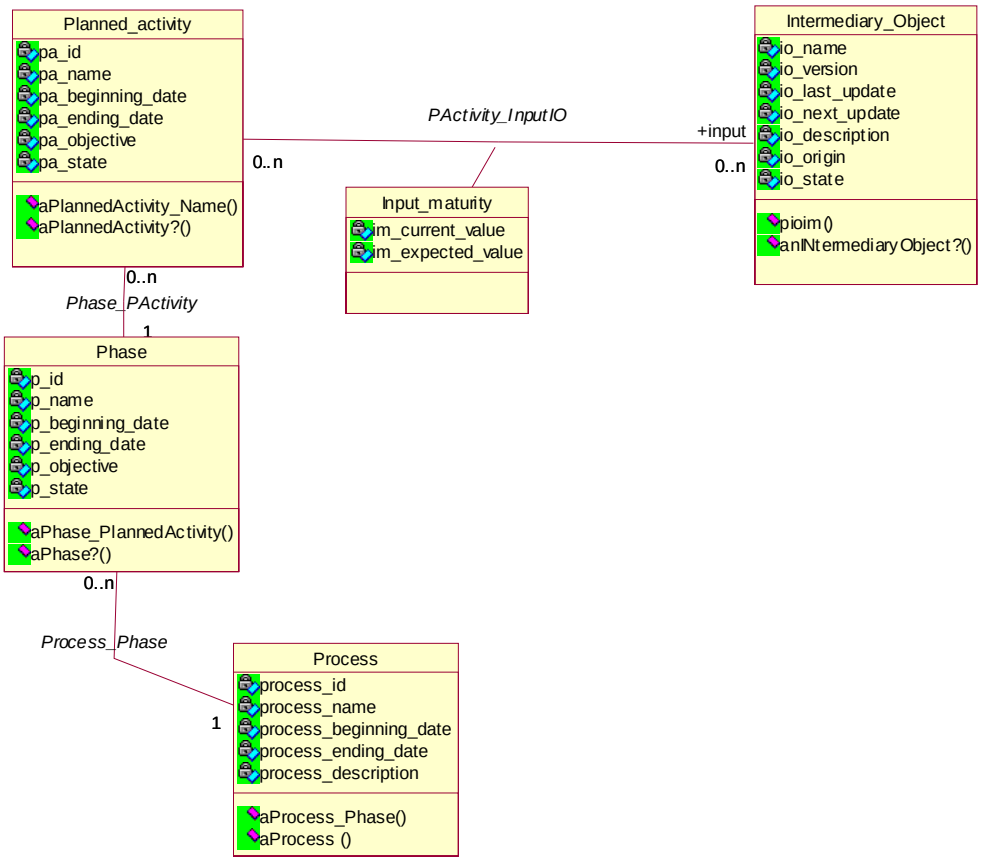


Figure 102 Diagramme de classes associé à la définition de la valeur de la maturité input.

A partir du modèle conceptuel de données (diagramme de classes), il s'agit de déduire les schémas relationnels de la base de données de l'outil PIQUANT. La totalité des schémas relationnels est représentée dans l'annexe 8.

8.2.4 Développement de l'outil Piquant

La maquette PIQUANT est une application Web reposant sur un serveur *Apache*, un serveur *MySQL* et le langage PHP. Comme il ne s'agit encore que d'une maquette, une solution plus simple a été choisie avec le logiciel *EasyPHP* version 1.8 qui permet d'installer automatiquement les deux serveurs ainsi que le langage *PHP*. Cette solution a aussi été choisie pour la portabilité de l'application qui a été souvent amenée à être présentée lors de différentes réunions et conférences. L'installation et la configuration des deux serveurs indépendamment prendraient beaucoup trop de temps. *EasyPHP* inclus aussi un outil de gestion de base de données *PHPMyAdmin* qui s'avère assez simple d'utilisation. Il est possible de réaliser des requêtes SQL ou de se faire aider par l'interface graphique pour

pouvoir les faire. Ce choix permet des fonctionnalités importantes, telles que la possibilité d'accès multiple à l'application et le support de transactions. Aussi la consommation en mémoire du serveur MySQL est raisonnable et facile à gérer.

En ce qui concerne le codage, différents langages comme *HTML, PHP* ou encore *JavaScript* ont été utilisés. L'environnement de développement a été *Dreamweaver MX.* Celui-ci offre la possibilité de visualiser à la fois le code et l'interface graphique. Il permet aussi la gestion de site, qui s'avère particulièrement utile lorsqu'il s'agit de modifier le nom de certaines pages Web.

8.3 Présentation d'un scénario d'utilisation du prototype PIQUANT

Les deux parties §8.1 et §8.2 précédentes présentent brièvement l'outil PIQUANT ainsi que les étapes de sa réalisation. L'objet de cette partie est de réaliser un scénario d'application du prototype. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur un cas industriel observé au CIH [Grebici 04]. Il s'agit d'illustrer certaines des fonctionnalités représentées dans la partie §8.1.

8.3.1 Présentation du scénario

Le but de cette section est d'illustrer sur un processus d'avant projet de conception au CIH, comment le cadre de collaboration proposé peut être un support d'aide à la collaboration entre les acteurs et comment cela peut améliorer le processus de conception.

Le processus d'avant projet appelé « processus de contractualisation » représente les phases d'analyse préliminaire d'une affaire[128] au CIH [Grebici 04]. Il constitue toutes les étapes de l'identification des besoins du client jusqu'à la signature du contrat en passant par les phases de préparation du dossier de réponse à l'appel d'offre.

L'exemple traité est une réponse à un appel d'offre international appelée « Kh_Nord »[129]. Cette affaire porte sur l'assistance et la maintenance d'une centrale hydroélectrique.

Etant donné le type de produit unique qu'est le produit hydroélectrique (cf. §1), les besoins clients sont très importants pour la définition du produit. Ces besoins sont généralement difficiles à identifier, immatures et difficiles à traduire en des fonctionnalités techniques. Par

[128] Nous rappelons que le terme « affaire » remplace le terme « projet » dans les phases d'avant projet au CIH (cf. §2).
[129] Pour des raisons de confidentialité, le nom du projet a été changé et les détails financiers et techniques ont été omis.

ailleurs, avec un contexte de concurrence important et de délais de réponse à un appel d'offre de plus en plus courts, il devient nécessaire d'adopter une organisation concourante des activités. Tous ces facteurs font que les acteurs doivent commencer leurs activités en se basant sur des informations immatures.

Notre intérêt pour ces phases préliminaires est primordial. Il s'agit d'appliquer l'outil PIQUANT comme support de gestion de ces informations immatures.

L'équipe d'offre est constituée d'un responsable de zone (RZ) qui est le commercial responsable de la zone géographique où se trouve le site hydroélectrique « *Kh_Nord »* (figure 103). Il tient le rôle de chef des phases de réponse à l'appel d'offre. D'un point de vue des métiers techniques, il y a un responsable technique d'offre (RTO) qui est responsable des lots techniques contenus dans l'offre (figure 103). Le RTO a un rôle important dans les phases de préparation de l'offre technique. Ensuite, il y a les membres contributeurs techniques qui sont des ingénieurs EM-ET[130], des ingénieurs EM-M[131], des projeteurs, etc. (figure 103). Chaque membre se voit attribuer un nom d'utilisateur et un mot de passe avec lesquels il doit s'identifier pour accéder à l'application.

Les principales phases constituant le processus de contractualisation sont : *la prospection commerciale et offres potentielles, la préparation de l'offre, la négociation et la signature du contrat avec le client* (figure 103). Ces phases sont séparées par des jalons : La *revue de développement* où la hiérarchie[132] décide de la pertinence de l'affaire ; La *revue d'offre* est une réunion qui se tient à la fin de l'offre technique entre les responsables du projet (RZ et RTO) et l'équipe d'offre. Pendant cette réunion, les acteurs discutent du contenu du document d'offre, le dernier jalon est la *signature du contrat* qui termine le processus de "contractualisation".

[130] Electromécanique, spécialité Electricité et Transport.
[131] Electromécanique, spécialité Mécanique.
[132] La hiérarchie au CIH est principalement constituée de chefs de départements et chefs de services.

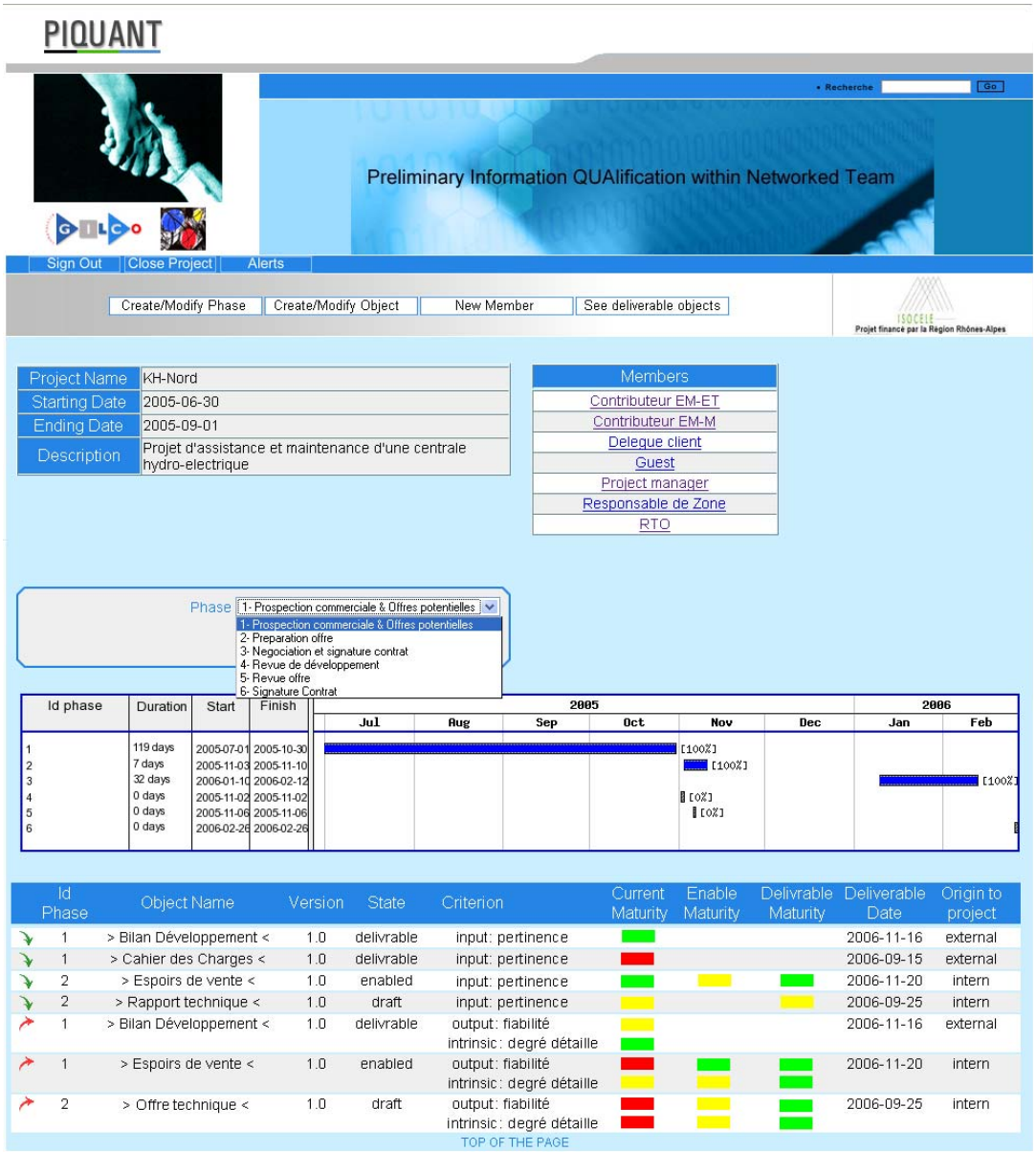


Figure 103 Avant projet « Kh_Nord » représenté à un instant « t » dans l'outil PIQUANT

Les principaux livrables du processus sont *: le bilan de développement*[133], les *espoirs de vente*[134] et *l'offre technique*[135] (figure 103).

[133] Le plan de développement représente les orientations stratégiques et opérationnelles du CIH. En réalité, ce plan est le résultat d'un processus parallèle au processus de contractualisation, mais les résultats de ce dernier impliquent des mises à jour du plan de développement.

[134] Les espoirs de vente résultent du processus de prospection commerciale. Ces notations ont pour but de donner une idée sur la probabilité qu'une affaire devienne, à la fin du processus Contractualiser et devient un projet qui représente une charge sûre pour le CIH. Le calcul des espoirs de vente permet d'estimer le nombre d'heures pondérées d'une affaire donnée.

[135] L'offre technico-commerciale résulte de la phase de préparation de l'offre. Il représente des spécifications techniques et commerciales de l'affaire.

8.3.2 Application

Nous présentons l'application du scénario suivant les six fonctionnalités principales de PIQUANT, présentées dans la partie §8.1 ci-dessus. Notons que ce scénario concerne uniquement la première phase du processus de contractualisation, à savoir la phase de *prospection commerciale et offres potentielles*. Il s'agit d'un scénario comme il pourrait se dérouler à l'aide du prototype PIQUANT.

Création et représentation de la maturité

Basé sur des expériences passées, les membres du projet *Kh_Nord* peuvent définir un ensemble de critères de maturité. Souvent pendant les phases de réponse à un appel d'offre, les acteurs utilisent, de façon implicite, des qualifiants pour décrire la maturité d'une information. Nous avons identifié trois critères récurrents : *la pertinence, la fiabilité* et *la précision.* Le premier critère peut être défini comme un critère de maturité input. Le deuxième correspond à un critère de maturité output et le dernier à un critère de maturité intrinsèque (figure 104). Ces trois critères semblent être partagés par plusieurs acteurs interrogés, notamment les acteurs participants au projet *Kh_Nord*.

Nous avons remarqué toutefois que les acteurs utilisent des termes de manière non précise. Par exemple, la fiabilité peut être utilisée pour désigner la confiance mais aussi la stabilité de l'information. La précision est parfois utilisée pour caractériser le degré d'exactitude de l'information mais aussi pour désigner le degré de détaille (d'un document). Dans ce scénario, nous considérons les deux critères, précision et degré de détail, séparément. Ces derniers désignent des critères de maturité intrinsèque (figure 104).

Criterion Name	Type	Description	Possible Values	Representation
pertinence	input	l'effet et l'effort contextuels	non pertinent modérément pertinent pertinent	
degré détaille	intrinsic	profondeur	non détaillé modérément détaillé détaillé	
précision	intrinsic	degré de précision	imprécis modérément précis précis	
fiabilité	output	degré de stabilité	non fiable modérément fiable fiable	

TOP OF THE PAGE

Figure 104 Les critères de maturité identifiés par les acteurs de l'équipe projet

Pour chaque critère, après concertation, les acteurs définissent différentes valeurs possibles. Par exemple : la fiabilité aurait trois valeurs possibles : *non fiable, modérément fiable et fiable*

(figure 104). Le mode de représentation choisi est par exemple, le code couleur (rouge pour les valeurs faibles, jaune pour les valeurs modérées et vert pour les valeurs élevées). Le code de représentation doit être simple à comprendre et facile à utiliser.

La diffusion des objets intermédiaires dans les espaces de travail

Nos observations[136] du processus de réponse aux appels d'offre au CIH nous ont permis de décomposer chaque phase en activités planifiées. Par exemple, la phase *« Prospection commerciale et offres potentielles »* est décomposée en trois activités : *la pré-qualification, la prospection commerciale et le criblage* (figure 105).

Au début du projet, le RZ (user 1) définit des contributeurs à la phase de « *prospection commerciale et offres potentielles »*. Ces contributeurs sont les responsables des activités sous-jacentes. Le RZ définit également les maturités livrables que les objets intermédiaires : *plan de développement, espoirs de vente et offre technique,* devront atteindre à la fin du processus de contractualisation (figure 104).
Après concertation de l'équipe d'offre, le RZ définit l'enchaînement des activités planifiées. Certaines de ces activités devront être exécutées en parallèle, telles que les activités de pré-qualification et de prospection commerciale (figure 105).

Concernant les objets intermédiaires échangés entre les activités planifiées, les responsables définissent leurs maturités attendues (pertinence attendue) et cibles (fiabilité, précision et/ou degré de détail cibles).

La page d'accueil de l'espace projet (figure 105) sert de tableau de bord qui aide les acteurs à suivre l'évolution quotidienne de leurs activités. Par exemple, en consultant cette page, le responsable de l'activité « criblage », en l'occurrence un commercial, se rend compte d'une situation critique. En effet, la maturité cible du rapport de pré-qualification ne concorde pas avec les attentes du commercial (figure 105).

[136] Le niveau activité du processus de conception représente les résultats de nos observations menées sur le terrain. Ces activités ont été validées par plusieurs acteurs opérationnels et responsables au CIH.

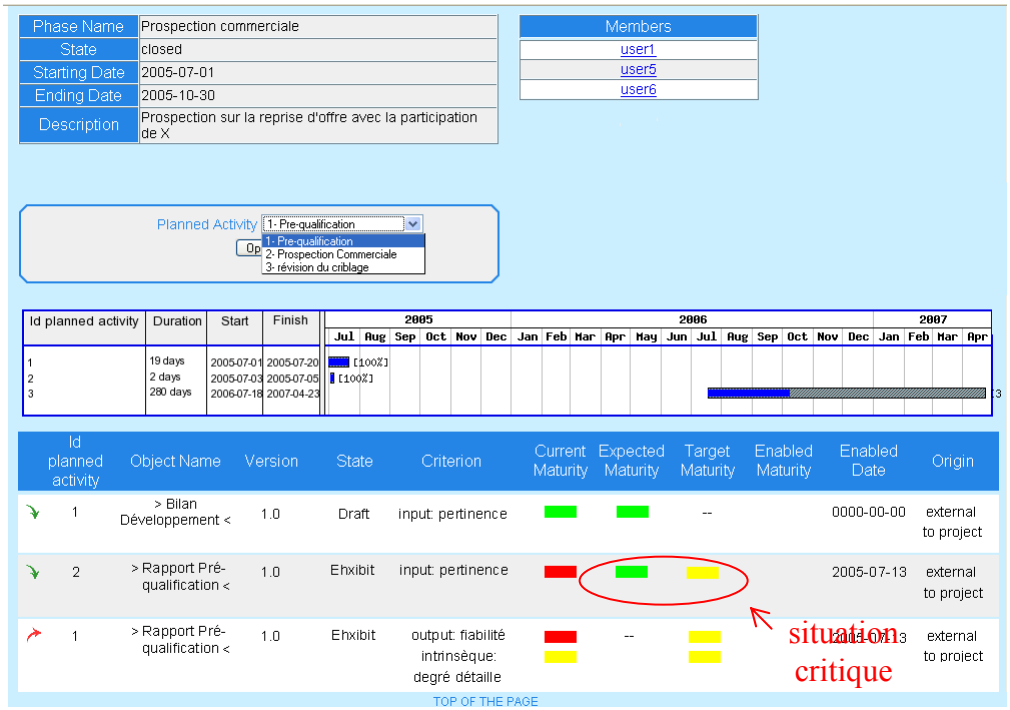


Figure 105 Espace de travail projet relatif à l'affaire *Kh_Nord*

Dans ce cas, une maturité de trace habilitée est impossible à définir. Il convient donc que les deux responsables user 1 et user 5 (RZ et le commercial) des deux activités respectivement *« pré-qualification »* et *« criblage »* se retrouvent dans un espace proximité afin d'arriver à un compromis.

La création et la gestion d'espaces autonomes

Le commercial (user 5) invite le RZ (user 1) dans un espace de proximité afin de débattre la question de la maturité de trace habilitée du rapport de pré-qualification (figure 106). Dans cet espace, les acteurs exposent leurs arguments successifs. User 5 explique que, pour effectuer un criblage de l'affaire, il est essentiel que les résultats de l'activité de pré-qualification soient fiables, notamment la date de sortie de l'affaire et le nombre d'homme/mois estimé. Il joint à son argumentation la fiche de criblage[137] ainsi que les valeurs des maturités associées (la partie (1) dans la figure 106).

L'acteur user 1 répond à ces explications par le fait que les pré-qualifications effectuées sont réalisées, en partie, à partir du bilan de développement. Ce rapport, réalisé parallèlement au

[137] Une fiche de criblage résume les informations techniques, commerciales, environnementales, juridiques, etc. relatives à l'affaire.

processus de contractualisation, semble ne pas être à jour. User 1 ajoute à ces explications, d'autres arguments qui portent sur les objectifs du client. L'acteur trouve que les objectifs en terme de budget du client ne sont pas clairement identifiés, ce qui rend l'estimation de la charge (hommes/mois) et les dates prévisionnelles difficile à évaluer.

Le processus d'argumentation finit par un compromis proposé par le commercial (user 5). Le compromis consiste à remettre l'utilisation des pré-qualifications à une date ultérieure (une date qui soit inférieure à la date de fin de la phase de prospection commerciale et d'offres potentielles) mais qu'en même temps une prospection commerciale soit déclenchée par l'acteur « user 5 » afin de permettre une meilleure estimation de certaines informations encore non fiables.

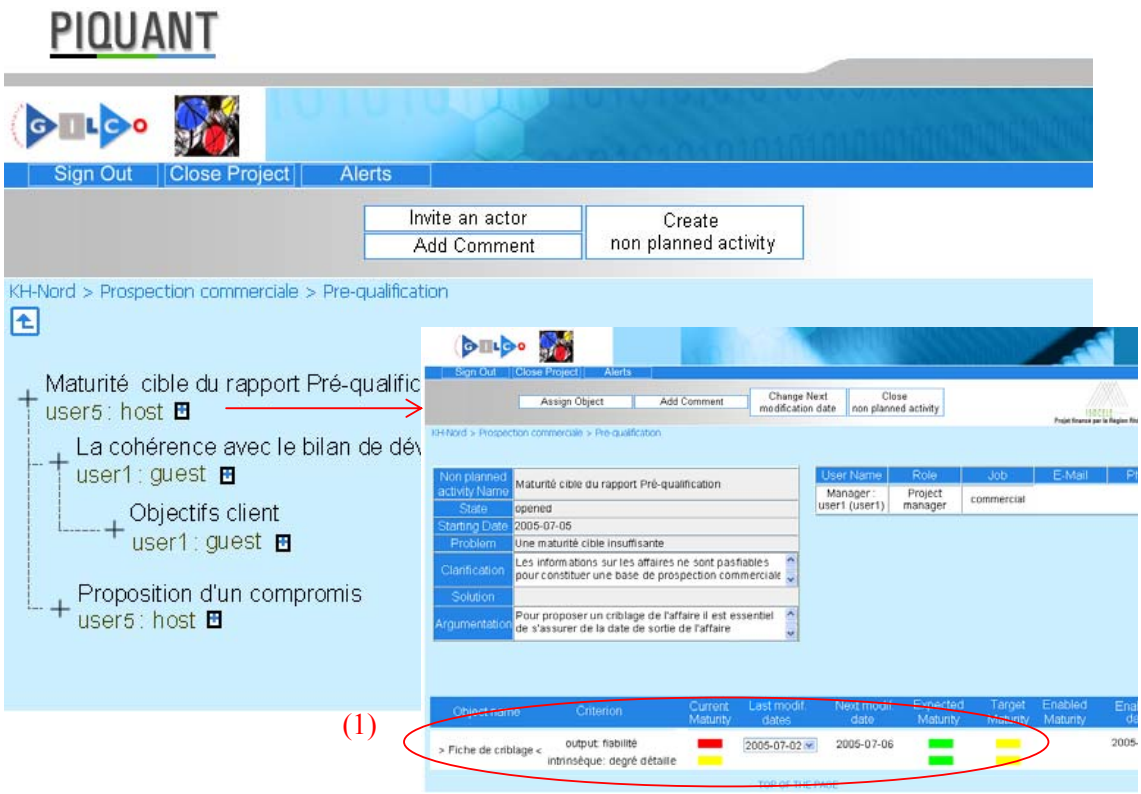


Figure 106 Discussion autour de la valeur de la maturité dans l'espace de proximité

Construction collaborative de la maturité d'un objet intermédiaire

Souvent le cahier des charges parvient RZ sous une forme incomplète ou même non formalisée. La tâche principale du RZ est de vérifier la source du cahier des charges, de vérifier son contenu ou même le constituer. Cette tâche n'est évidemment pas effectuée par le

commercial seul mais en collaboration avec le client et les contributeurs des autres métiers, notamment le RTO (user 2). Intéressons nous à la collaboration entre le RZ et l'équipe technique. Reprenons l'exemple de la figure 106 ci-dessus. Le RZ (user 1) invite le RTO (user2) et un contributeur EM-ET (user 3) dans un espace de proximité afin d'évaluer la maturité du cahier des charges que le RZ aurait obtenu du client (figure 107). Pour ce faire, plusieurs paramètres de conception sont considérés. Par exemple, le RZ pointe sur le budget du client comme élément de décision important d'un point de vue commercial mais aussi technique. Ce paramètre dimensionne l'importance de l'affaire. Les moyens financiers mis en œuvre ne sont pas les mêmes et donc le nombre d'hommes mois à allouer est différent. Il propose aussi de caractériser la maturité de ce paramètre de *modérément fiable* et *non précis* (partie 2 de la figure 107). Le RZ et le RTO (user 1 et user 2) s'accordent sur le fait que l'estimation du budget actuelle est une information non pertinente pour leurs activités respectives (partie 3 de la figure 107). Le contributeur EM-ET, signale la nécessité de considérer les conditions du site (géologiques, hydrologiques, etc.) dans l'estimation de la maturité du cahier des charges. Il explique, dans un commentaire (note à côté des conditions du site) que les données du site ne sont pas toutes disponibles et le peu qui existe n'est pas mature (imprécis et non fiable).

Un autre paramètre aussi important, ajouté par le RTO, concerne les informations techniques et plus particulièrement la turbine/générateur. En effet, comme le projet consiste en une assistance à la maintenance d'une centrale hydroélectrique, le groupe turbine/générateur constitue l'une des installations la plus importante parmi les lots techniques. Mesurer la maturité du cahier des charges technique revient à estimer la maturité des informations de ces installations.

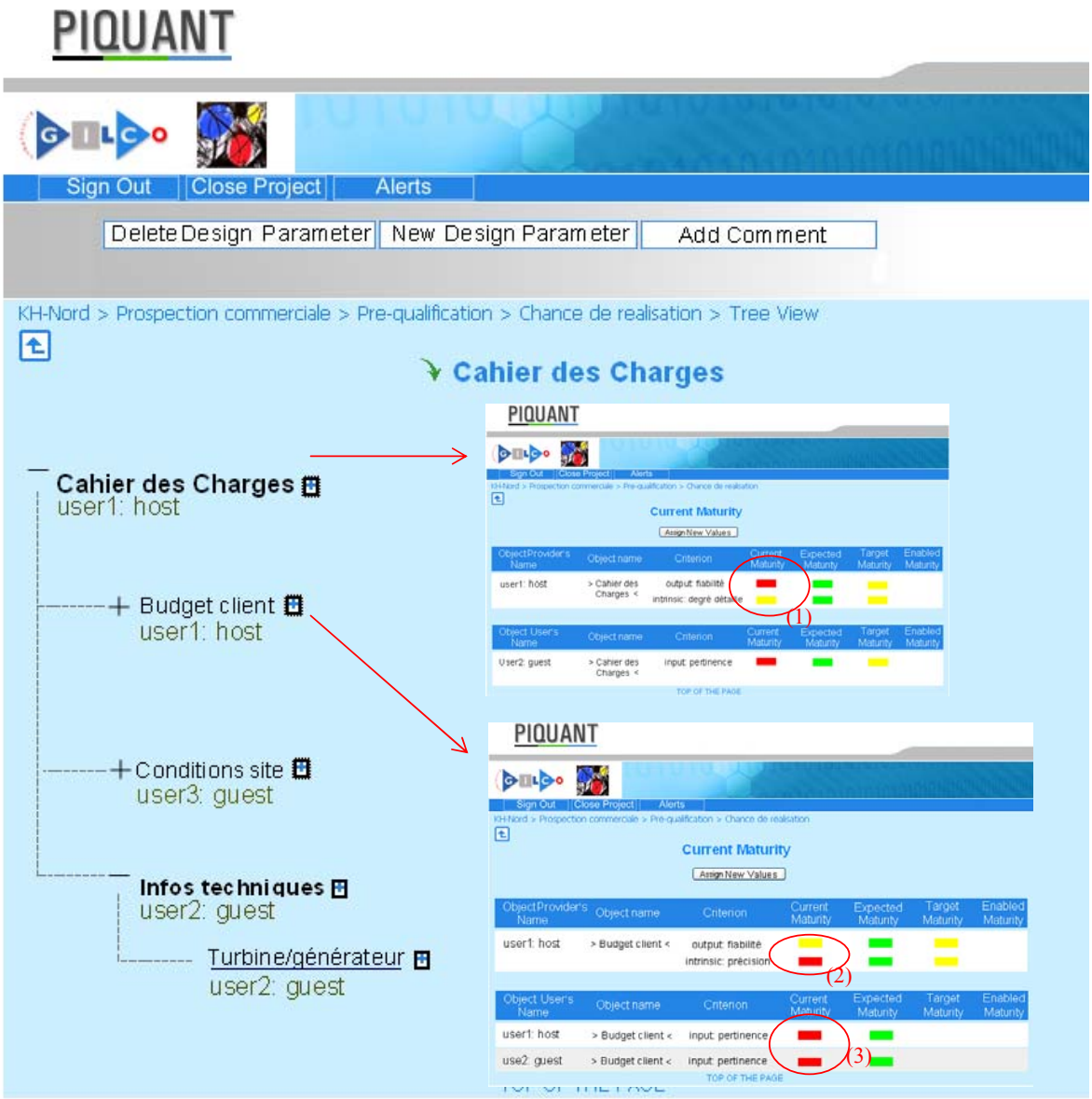


Figure 107 Construction de la maturité du cahier des charges

Après avoir fait le tour des paramètres de conception, le RZ finit par affecter des valeurs aux maturités output et intrinsèque du cahier des charges (partie 1 de la figure 107). Ces valeurs sont évidemment comparées avec les valeurs attendues par l'acteur utilisateur du cahier des charges, c'est-à-dire le RTO.

8.4 Analyses et conclusion

L'application de l'outil PIQUANT permet la mise en avant d'un certain nombre d'informations qui sont, actuellement, communiquées de façon informelle et non formalisée.

Cela est d'autant plus problématique quant les acteurs sont très mobiles. Le scénario exposé ci-dessus montre cela. En effet, les intervenants aux phases de réponse à l'appel d'offre, lors des entretiens, affirmaient que l'un des problèmes majeurs, est le manque de moyens asynchrones leur permettant de partager les informations sur l'affaire. L'outil PIQUANT permet ce type de collaboration à travers les différents espaces de travail. Outre le problème de synchronisation, les acteurs n'avaient pas le moyen de discuter la maturité des informations de façon explicite. L'exemple du cahier des charges en est la preuve. En réalité, sur le terrain, les acteurs posaient plutôt le problème de mise à jour des informations et des différentes sources possible des informations plutôt que de qualifier les informations dont ils disposaient. PIQUANT permet de qualifier le contenu des échanges entre les acteurs. Par la même occasion, il permet d'associer l'information à la planification des projets à travers le mécanisme de diffusion des informations dans les différents espaces de travail. Nous avons vue à travers le scénario, que le fait de diffuser l'information sur les maturités (attendue et cible) du cahier des charges, permet aux acteurs d'identifier une situation critique. Ce genre de mécanismes permet des ajustements de la planification des activités, des reconsidérations de développements (du futur produit), une réaffectation des ressources, etc. enfin une meilleure gestion du projet.

Aussi, la possibilité de construire et de suivre conjointement la maturité des objets intermédiaires permet aux acteurs de se maintenir informer des évolutions dans le processus mais aussi de considérer un certain nombre de paramètres de conception qui influent sur ces évolutions.

Par ailleurs, souvent les acteurs ne se rendent pas compte assez tôt dans le processus des problèmes dus notamment à la maturité des informations. Par exemple, pour le cas des cahier des charges, la discussion a été amorcée pendant les phases avancées du processus (phase de préparation technique de l'offre) et à des moments différents dans le processus (le budget a été abordé pendant la réunion d'enclenchement de l'offre et les parties techniques pendant la préparation de l'offre). Le prototype PIQUANT met en avant des informations telles que les objets intermédiaires critiques, l'émetteur, les utilisateurs, les valeurs des critères de maturité, etc. qui incitent les acteurs à se rencontrer assez tôt pour remédier aux problèmes.

Cependant, la réalisation du prototype PIQUANT repose sur un certain nombre d'hypothèses. L'utilisation du prototype passe outre des problèmes liés à l'impossibilité de partager les

informations, c'est-à-dire que certains objets et maturités n'offrent pas de prise pour des acteurs qui ont besoin de collaborer. Rappelons le cas des plans de coupes qui n'offrent pas de prise aux projeteurs du métier de contrôle commande dans le chapitre 2 (cf. §2.2.3). Les espaces proximité s'annoncent difficile à utiliser dans ce cas.

Nous avons supposé aussi que les acteurs pouvaient se synchroniser cognitivement à l'aide de la maturité et des espaces de travail, notamment les espaces de proximité. Encore faut-il partager ces informations, comme il vient d'être expliqué, mais aussi être assez informé du contexte de la conception pour pouvoir comprendre la conception et se comprendre mutuellement.

PIQUANT intègre un bon nombre de fonctionnalités des SGDT, de systèmes workflow, d'outils groupeware et enrichit ces fonctionnalités par une gestion fine de la collaboration.

En effet, en reprenant les fonctionnalités identifiées dans le chapitre 3 (tableau 1), le prototype PIQUANT permet le pilotage de la diffusion des objets intermédiaires, la création et la gestion d'espace de travail coopératif (notion plus large que celle d'espace de partage des documents), la coordination locale et la qualification des objets intermédiaires[138]. Aussi, en intégrant un mécanisme de gestion de workflow dans le système PIQUANT basé sur les différents états de maturité définis dans cette thèse (cf. §5.4.1), nous obtenons un mécanisme workflow dynamique qui permet une planification dynamique du processus en fonction de la maturité du flux d'information échangées. L'apport majeur du système PIQUANT est la fonctionnalité permettant la qualification de la maturité des objets intermédiaires.

PIQUANT peut être vu comme un démonstrateur des fonctionnalités attendues. Pour réaliser un véritable outil, il serait recommandé de faire coopérer et d'étendre des outils du marché.

[138] Cette fonctionnalité a été rajoutée dans ce tableau. Elle ne figurée pas parmi les fonctionnalités identifiées dans le chapitre 3.

Famille d'outils / Fonctionna-lités du trèfle	Workflow	SGDT	Groupeware : Awareness	Groupeware : Autre	PIQUANT
Planifier a priori du processus	++	- -	- -	- -	+
Planifier dynamiquement le processus	+	- -	- -	- -	++
Créer/partager des espaces de travail coopératif	- -	- -	+	+	++
Qualifier de la maturité des objets intermédiaires	-	-	-	-	++
Gérer les objets intermédiaires	- -	-	-	- -	++
Piloter la diffusion des objets intermédiaires	-	-	+	-	++
- Se synchroniser cognitivement : - Exprimer ses arguments, son point de vue, ses contraintes, etc.	- -	- -	- -	-	+
- Se coordonner localement	-	- -	++	+	+

+ + l'outil répond complétement à la fonctionnalité.
+ l'outil répond partiellement à la fonctionnalité.
_ l'outils représente plusieurs manques pour répondre à la fonctionnalité.
_ _ l'outil n'est pas conçu pour répondre à la fonctionnalité.

Tableau 12 Fonctionnalités remplies par le prototype PIQUANT

Chapitre 9 : Vers un catalogue de patrons pour la capitalisation des connaissances en conception collaborative

La gestion des informations immatures est un domaine relativement récent et en plein mouvement. Cette mouvance résulte de l'intérêt croissant des organisations industrielles pour ce mode de gestion. En effet, dans un contexte d'organisations industrielles plus complexes conduisant les entreprises à adopter de nouvelles pratiques, comme par exemple l'ingénierie concourante, voire de nouvelles structures comme l'entreprise virtuelle, les *systèmes d'information de produit*[139] deviennent un enjeu stratégique pour les entreprises. Ils permettent une gestion performante des informations accompagnant le développement des produits et une rationalisation de l'ensemble des activités du processus de développement.

Le travail effectué jusqu'à présent dans cette thèse, consiste en une *spécification des besoins* relatifs au développement de systèmes d'information adaptés à la gestion des informations immatures (prototype PIQUANT) relatives au processus de développement de produit (manufacturé ou bâtiment). Dans ce chapitre, nous introduisons une approche permettant la capitalisation des connaissances acquises pour renseigner un tel système. Une telle démarche permet aux entreprises une utilisation plus efficace de ces systèmes.

Nous focaliserons ainsi notre choix sur une approche à base de patrons (*patterns*). L'objectif est de favoriser la réutilisation de connaissances acquises lors de l'analyse ou de la conception et de permettre aux concepteurs (du SI) de travailler à un niveau d'abstraction plus élevé que celui des classes logicielles. Pour ce faire, il faut une modélisation d'objets qui soit réutilisables[140] et l'application d'une démarche d'ingénierie de SI qui soit la plus systématique possible. Ce système de patron s'adresse, d'une part, aux concepteurs de Système de Gestion des Informations Immatures, et d'autre part aux experts dans l'entreprise, tels que les chefs de projet en charge de l'analyse et de la gestion du processus de développement de produit. Il permet aux concepteurs d'identifier et de modéliser les concepts relatifs au système

[139] Un système d'information de produit est considéré comme un système d'information utilisé pour la gestion des données techniques du produit.

[140] C'est l'objectif de nombreux travaux dans l'ingénierie pour la réutilisation et à travers les démarches à base de composants réutilisables.

d'information. Par ailleurs, le système de patron sert de guide aux chefs de projet permettant d'exprimer les besoins liés au SGII et d'analyser le processus de développement de produit.

Dans ce qui suit, nous commençons par présenter le catalogue des patrons proposé pour l'analyse et la conception d'un Système d'information Informatique qu'on nommera « Système de Gestion des Informations Immatures (SGII) ». Dans la partie §10.2 nous présentons les principaux patrons qui constituent le système de patrons. Les principes de base sont ensuite présentés dans la partie §10.3. La partie §10.4 clôture ce chapitre.

9.1. Catalogue des Patrons

Avant d'aborder la présentation du catalogue de patron proposé, nous tenons à préciser la sémantique des termes « patron » et « catalogue ».
Le terme « patron » a été défini par différents auteurs tels que [Alexander 1977] [Fowler 1997] [Gamma 1995], etc. et utilisé dans différents domaines tels que l'architecture [Alexander 1977] et la conception de systèmes logiciels. Dans le domaine des patrons dédiés aux systèmes logiciels, les auteurs font la distinction entre plusieurs types de patrons : patron d'analyse, patron de conception et patron d'implantation. Tous les auteurs s'accordent sur le fait qu'un patron *« décrit à la fois un problème qui se produit très fréquemment dans un environnement et l'architecture de la solution à ce problème de telle façon qu'on puisse utiliser cette solution des millions de fois sans jamais l'adapter deux fois de la même manière »* [Alexander 1977].

Alexander [Alexander 1977] définit aussi un catalogue de patrons ou un système de patrons comme *« une collection de patrons formant un vocabulaire qui permet de comprendre et de communiquer les idées »*. Les patrons de cette collection sont tissés entre eux dans un tout cohésif qui met en avant les structures et les relations inhérentes à chacun de ses composants pour atteindre un objectif commun [Front 1997].

Dans cette partie, l'objectif est d'organiser l'ensemble des informations identifiées dans les chapitres précédents sous forme de patrons. L'idée est de modéliser le processus de développement de produit et d'identifier les problèmes associés à chaque partie du modèle en suivant un langage de patrons. Il s'agit de classer les connaissances selon les besoins informationnels « permanents » (génériques à toutes les entreprises) et « variants » (spécifiques) dans le système d'information.

9.1.1 Présentation générale

L'analyse effectuée dans les chapitres §6, §7 et §8, portant sur le cadre de collaboration dans le processus de conception de produit, a permis d'identifier les besoins informationnels des utilisateurs du système d'information. Deux types d'information sont mis en jeux : les informations concernant le processus planifié (activités planifiées, leur organisation, les ressources, etc.) et les informations concernant le produit (différentes classes d'objet intermédiaire, leurs liens, etc.).

Les patrons proposés dans ce travail, permettent d'élaborer l'ensemble des modèles du SGII. Il s'agit de patrons métier spécifiques au domaine de conception de produit, qui couvrent la phase d'analyse des besoins[141] et initialisent la phase de conception (logicielle).

L'objectif de ce travail, est de répondre aux questions suivantes :

1. comment acquérir les données du système d'information ?
2. comment spécifier les objets du système d'information pour aboutir à un modèle de spécification fonctionnelle décrivant les objets identifiés (décrire les caractéristiques et le comportement des objets) ?

Dans ce qui suit, nous répondons aux questions ci-dessus. Pour ce faire, nous utilisons des *patrons d'analyse***.** Ces derniers servent à identifier les besoins informationnels résultants de l'analyse du domaine (modèle conceptuel), c'est-à-dire l'ensemble des objets du système d'information.

Les patrons d'analyse sont spécifiés en deux catégories:

- *les patrons produit* fournissent des fragments de modèle représentant le produit (informatique).
- *les patrons processus* fournissent des fragments de démarche à suivre afin d'aboutir au modèle du produit.

Cela dit, dans les patrons produit, nous décrivons aussi la démarche permettant de produire le modèle présenté dans la solution du patron.

[141] La phase de spécification fonctionnelle du système d'information informatique.

9.1.2 Formalisme choisi

Plusieurs formalismes sont proposés dans la littérature. Duong [Duong 00] définit deux classes de formalismes : les formalismes « narratifs » [Portland 00] et les formalismes « structurés » tels que ceux de Fowler [Fowler 1997] pour les patrons d'analyse et de Gamma [Gamma 1995] et pour les patrons de conception.

Les formalismes structurés donnent plus de détail et offrent une meilleure représentation des patrons. Quelque soit le formalisme, un patron comporte toujours les trois rubriques : problème, contexte[142] et solution. Un patron est exprimé en langue naturelle, à l'aide de modèles conceptuels, de schémas, etc.

Une étude portant sur la sémantique commune entre les différents formalismes de la littérature a été effectuée au sein de l'équipe SIGMA du laboratoire LSR[143] (Grenoble). L'étude a produit un formalisme structuré de représentation des patrons appelé P-SIGMA. Ce formalisme a pour objet de proposer de nouvelles rubriques facilitant la réutilisation de patrons et permettant de mieux les organiser. Aussi, ce formalisme permet d'exprimer à la fois des fragments de modèles (patrons produit) et des fragments de démarches (patrons processus). Pour écrire l'ensemble des patrons du système de gestion des informations immatures, nous partons du formalisme P-SIGMA [Duong 00] auquel nous ajoutons et modifions quelques champs pour l'adapter à notre étude. Le formalisme ainsi obtenu est nommé P-SGII.

Le formalisme P-SGII est composé de trois parties : « interface », « réalisation » et « relation ». La rubrique « interface » permet de sélectionner le patron dans un catalogue de patrons. La rubrique « réalisation » permet de résoudre le problème soulevé par le patron et la rubrique « relation » permet d'organiser les patrons dans le catalogue en définissant les liens entre ces derniers (voir annexe 9 pour les explications de chaque rubrique).

A partir de patrons existants, il est possible de générer d'autres patrons à l'aide d'opérations ou de liens. Pour ce faire, Rieu [Rieu 1999] définit quatre types de liens entre les patrons : *alternative, raffine, requiert et utilise*, dont la sémantique est décrite dans ce qui suit.

---

[142] Un contexte est défini par Rolland [Rolland 1998] comme un ensemble récurrent de situations dans lequel le patron est appliqué.
[143] http://www-lsr.imag.fr/

- *Alternative :* un patron « A » est une alternative au patron « B » si « A » a le même problème que « B » mais propose une solution différente.
- *Raffine* : un patron A « raffine » un patron « B » si le problème posé par « A » est une spécialisation du problème posé par « B ». « B » peut résoudre le problème posé par « A ». La force et le contexte de « A » sont enrichis par rapport à ceux de « B ». On dit alors « B » « étend » « A ».
- *Requiert* : un patron « A » « requiert » un patron « B » si l'application de « B » est un pré requis à l'application de « A ». Ainsi la solution modèle du patron « B » fait partie du contexte du patron « A » et/ou le patron « B » apparaît dans le contexte du patron « A ».
- *Utilise :* un patron « A » « utilise » un patron « B » si le problème posé par « A » peut être résolu en partie ou complètement par « B ». Ainsi dans la solution démarche de « A », le patron « B » est utilisé.

Les deux derniers liens entre patrons *utilise et requiert* sont ceux utilisés dans le présent système de patrons. Dans la suite de ce chapitre, nous représentons les différents liens (utilise et requiert) sous forme d'instances du diagramme de classes UML de la figure 108. Nous avons toutefois rajouté un troisième lien « est documenté par » pour exprimer le lien entre un patron « documentation » et le patron documenté. Ce dernier lien est rajouté afin d'alléger le patron documenté dont les méta modèles requièrent une documentation détaillée.

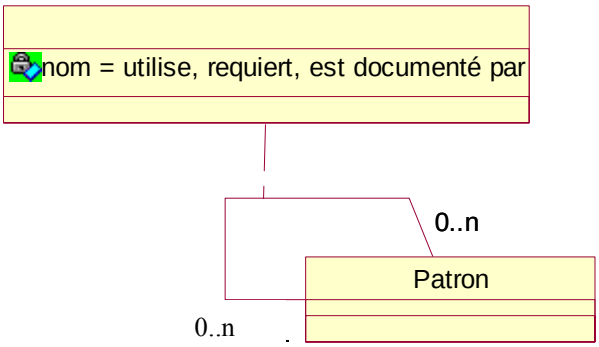


Figure 108 Liens"utilise" et "requiert" entre patrons

Un outil nommé AGAP[144] a été développé au sein de l'équipe SIGMA, pour créer et gérer des catalogues de patrons ainsi que leurs formalismes. Un formalisme est structuré de rubriques. Une rubrique est composée de plusieurs champs. Un champ a un type donné : diagramme UML, texte, etc. L'atelier AGAP (voir Annexe 10 pour plus de détails) supporte deux types de champs : types ensemblistes et types littéraux.

[144] AGAP : Atelier de Gestion et d'Application de Patrons.

9.2 Patrons du catalogue SGII

Dans cette partie, nous présentons les principaux patrons du catalogue (SGII). Pour chaque patron proposé, nous proposons une brève description du problème, du contexte et des solutions ainsi que des liens de ce dernier avec d'autres patrons du catalogue.

Nous commençons la description du catalogue des patrons par un patron d'entrée, qui est un guide d'utilisation des divers patrons d'analyse du système SGII. Ce patron est nommé « spécifier un SGII ».

9.2.1 Patron « Spécifier un SGII »

Le patron « Spécifier un SGII » propose l'application des patrons « Identifier points de variabilité », « Définir processus de développement de produit», « Identifier paramètres de gestion » et « Définir critères de maturité » (figure 109). Ces patrons servent à construire le modèle d'analyse produit, le modèle d'analyse processus et le modèle d'analyse de gestion[145.] Le patron « Spécifier SGII » n'impose pas d'ordre d'application des autres patrons. Néanmoins, il est préférable de commencer par le modèle produit pour pouvoir renseigner dans le modèle de définition du processus de développement, les objets entrants/sortants associés aux activités du processus.

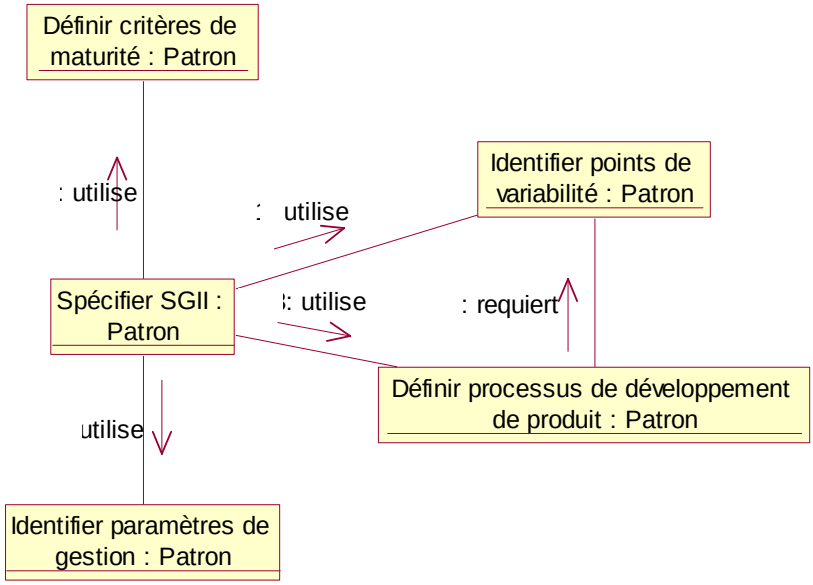


Figure 109 Liens entre les principaux patrons du catalogue SGII

[145] Le modèle d'analyse de gestion comporte des démarches et modèles qui explicitent les moyens mis en place pour la gestion de la coordination du processus (patron « Identifier paramètres de gestion ») et la gestion des informations immatures (patron « Définir critères de maturité »).

Patron : Spécifier SGII ***Formalisme : Formalisme P-SGII***

Nom

Spécifier SGII

Domaine

Processus, produit, gestion.

Contexte

Ce patron ne nécessite pas un autre patron ou modèle pour être appliqué

Probleme

Guider le concepteur du SGII (Système de Gestion des Informations Immatures) dans l'utilisation des divers patrons du catalogue

Force

Ce patron guide l'analyse du SGII de façon rigoureuse.

ExplicationDemarche

1. Construire un modèle d'analyse de produit associé au SGII. Pour cela appliquer le patron "Identifier points de variabilité".
2. Construire le modèle d'analyse des critères de qualification des objets intermédiaires enregistrés dans le système. Pour cela appliquer le patron « Définir les critères de maturité ».
3. Construire un modèle d'analyse de processus géré dans le système d'information. Pour cela appliquer le patron "Définir processus de développement de produit".
4. Construire un modèle d'analyse de gestion de la coordination de l'activité du système d'information. Pour cela appliquer le patron "Identifier paramètres de gestion"

DiagActivitesDemarche

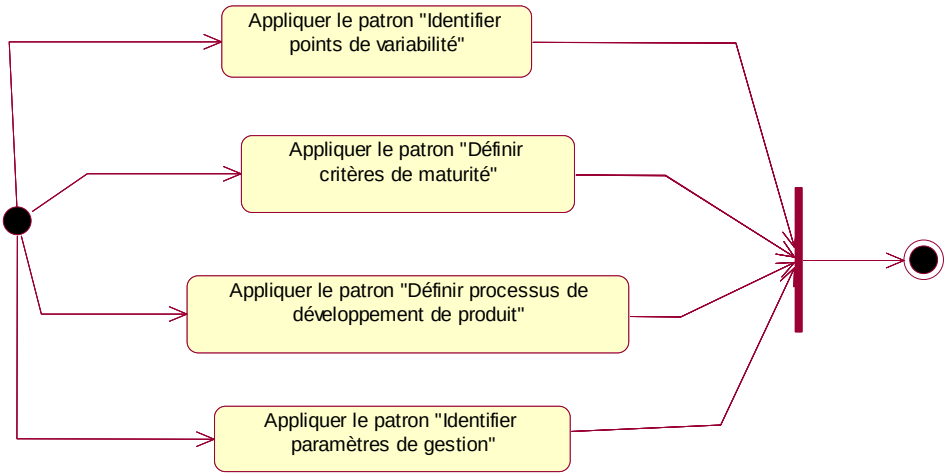


Figure 1 Démarche de spécification d'un SGII

ExplicationModele

A l'application de la solution-démarche, on obtient le modèle produit, le modèle processus et le modèle de gestion.

ExplicationApplication

Une démarche de spécification du SGII suit un ensemble plus ou moins ordonné d'étapes. Ainsi, pour la construction d'un modèle de conception illustrant des objets informatiques mis en collaboration dans le système d'information informatique, cela nécessite de connaître les objets relatifs au système d'information organisationnel ainsi que les traitements attendus du système informatique. Ces derniers ne peuvent être identifiés qu'à l'issue de la description du système organisationnel.

Utilise

{Identifier points de variabilité, Définir critères de maturité, Définir processus de développement de produit, Identifier paramètres de gestion}

Dans ce qui suit, nous décrivons les patrons utilisés dans le patron « Spécifier SGII ». Le patron « Identifier paramètre de gestion » n'est pas développé dans ce chapitre. Le développement de ce dernier est laissé en perspective. Par ailleurs, certains patrons ont été réutilisés, à partir d'un système de patron existant, et adaptés au cadre du présent catalogue. Nous signalerons ce fait au fur et à mesure de l'exposé.

9.2.2 Patron d'analyse : « Identifier points de variabilité »

Notre analyse des produits dans le domaine de la conception de produits a abouti à un modèle de produit (cf. annexe1). Ce dernier est constitué de plusieurs blocs d'objets (ou d'objets intermédiaires) gérés par les systèmes d'information du produit. Ce patron permet la construction du modèle statique du produit en le structurant en termes de classes et d'associations entre les classes. Il s'agit d'un problème récurent et complexe dans la spécification d'un système de gestion des donnés produit dans le sens où plusieurs cas sont à distinguer.

Le patron « Identifier points de variabilité » est une adaptation du patron de même nom défini dans le système présenté dans [Gzara 00]. Ce patron propose de fixer des blocs du modèle de produit (niveau de généricité, point de vue métier, vues sur le produit, etc.) et de représenter les points de variabilité au sein de chaque bloc.

L'analyse de la démarche, présentée dans le patron ci-dessus, montre qu'il s'agit d'identifier les niveaux de produit gérés dans le système en utilisant le patron « Niveaux de produit » (figure 110). Une fois les niveaux fixés, il convient de fixer les nomenclatures appliquées en utilisant le patron « Nomenclatures appliquées » et les construire via le patron «Construction nomenclatures » (figure 110). Ensuite, la démarche consiste à associer chaque nomenclature au niveau de produit approprié et à choisir les documents appliqués à chaque niveau de produit et à chaque nomenclature (via l'activité *Associer documents au produit*). Il est évident que l'application du patron « Documents appliqués » requiert l'application du patron « Niveaux de produit » pour que l'association des documents aux niveaux de produit puisse être possible (figure 110).

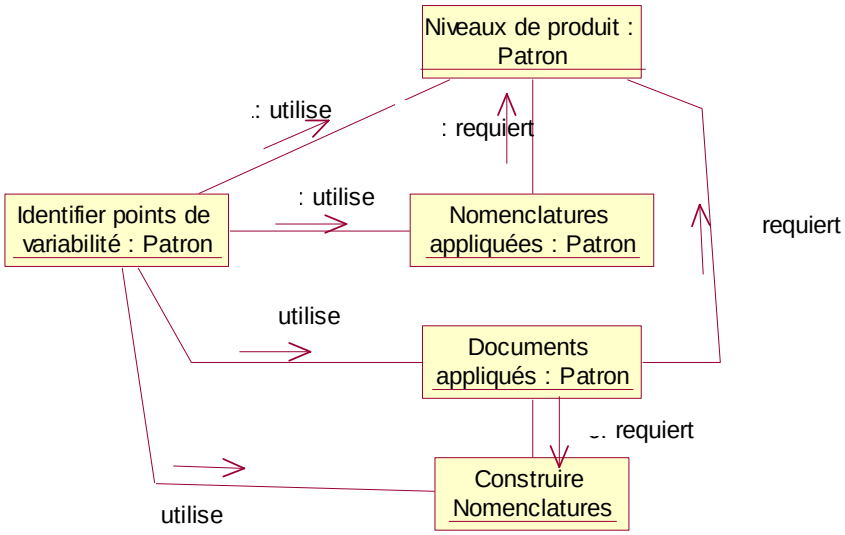


Figure 110 Liens entre les patrons utilisés dans le patron "Identifier points de Variabilité"

La dernière activité de la démarche d'identification des points de variabilité consiste à identifier parmi les informations sur le produit, celles qui représentent les éléments qui sont à la base des choix et décisions effectués par les acteurs pendant le processus de conception. Ces informations sont les paramètres de conception (cf. §5). Cette partie représente une extension du patron d'origine « Identifier points de variabilité » développé dans les travaux de Gzara.

Patron : **Identifier points de variabilité** ***Formalisme :*** ***Formalisme P-SGII***

Nom

Identifier points de variabilité

Domaine

Produit, identification des données et modélisation

Contexte

Ce patron ne nécessite aucun autre patron pour être appliqué.

Probleme

Guider le concepteur du SGII à identifier tous les blocs du modèle produit et fixer les points de variabilité à l'intérieur de chaque bloc selon la spécificité de l'entreprise.

Force

Ce patron guide la modélisation d'un produit de manière rigoureuse et uniforme. Toutefois, il ne prend pas en compte l'introduction de nouveaux concepts. L'apparition de nouveaux concepts demande une révision du catalogue de patron et plus particulièrement ce patron.

ExplicationDemarche

1. Fixer le nombre et le type de niveaux d'abstraction du produit (niveau générique, niveau type-produit et\ou produit physique). Pour cela appliquer le patron "Niveaux de produit".
2. Pour les nomenclatures : (1) Fixer les types de nomenclatures appliquées (nomenclature organique, nomenclature géométrique, etc.). Pour cela, appliquer le patron "Nomenclatures

appliquées". (2) Construire les nomenclatures décrivant votre produit. Pour cela appliquer le patron "construire nomenclature". (3) Associer chaque nomenclature au niveau de produit associé (ex : la nomenclature organique associée au niveau générique et au niveau type-produit). Pour cela, créer une association qui lie la classe du niveau de produit considéré à la classe qui correspond à la racine de la nomenclature considérée.

3. Pour les documents : (1) fixer les types de documents appliqués. Pour cela appliquer le patron "documents appliqués". (2) Associer le type de documents appliqués aux nomenclatures appropriées. Pour cela, crée une classe pour chaque type de document identifié (document représentation, document support) et créer une association qui lie cette classe à l'objet documenté (qui peut être un niveau de produit, une feature, un composant organique, etc.). Selon que le type de document est un "support" ou "représentation", stéréotyper la classe associée par le stéréotype adéquat. Baptiser l'association "documente" (cardinalité 1..* du côté de la classe documentée) ou "décrit" (cardinalité 0..* du côté de la classe décrite) les associations reliant la nomenclature au document *support* et la nomenclature au document *représentation,* respectivement.

4. Associer les paramètres de conception aux objets gérés dans le système. Pour cela créer une classe « paramètre de conception » et l'associer aux nomenclatures appropriées, aux représentations et aux supports. Ensuite, créer des associations reliant cette classe aux classes : « nomenclature », « représentation » et « support ». Baptiser ces associations « caractérise », « est une information de représentation » et « est une information de support », respectivement.

DiagActivitesDemarche

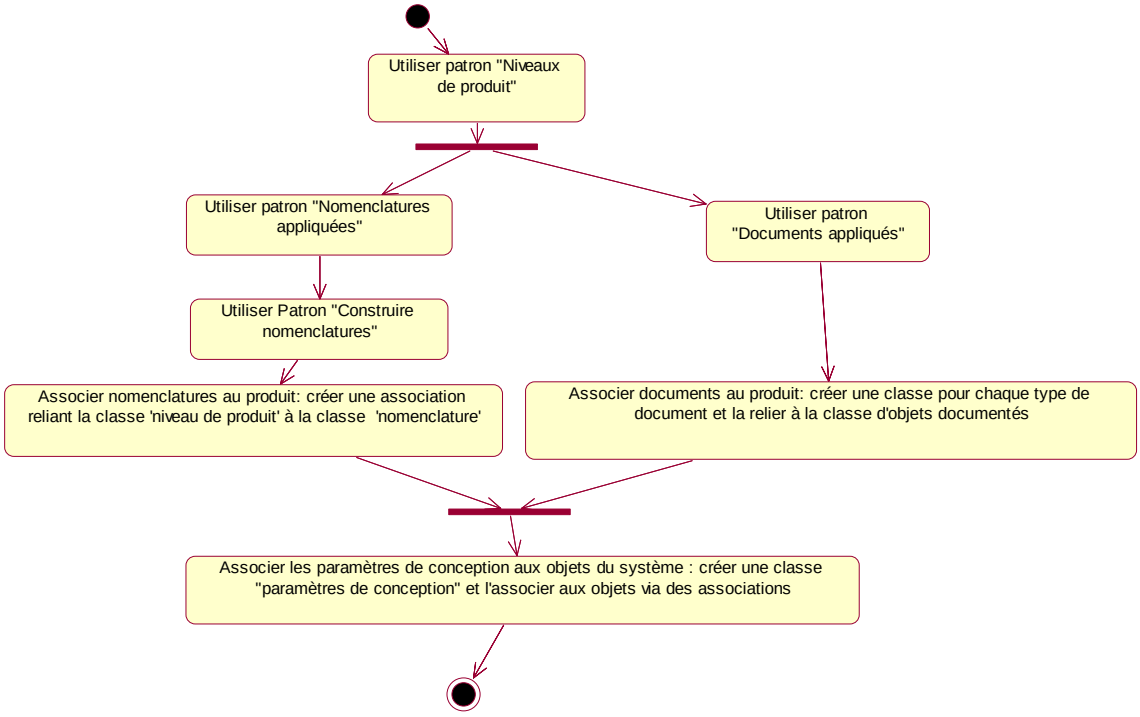


Figure 1 Démarche d'identification des points de variabilité du modèle de produit dans l'entreprise

ExplicationModele

A l'application de la solution démarche on obtient un diagramme de classe qui représente le modèle de produit qui est une instance du méta modèle de la figure 2 ci-dessous. Ce dernier permet au concepteur

de fixer le vocabulaire et les stéréotypes.

MetaModèle

Le méta modèle ci-dessous représente le modèle de données générique dont l'instanciation donne le modèle de produit de l'entreprise. Dans ce dernier, les objets sont stéréotypés selon les noms des classes définis dans le méta modèle de la figure 2 ci-dessous.

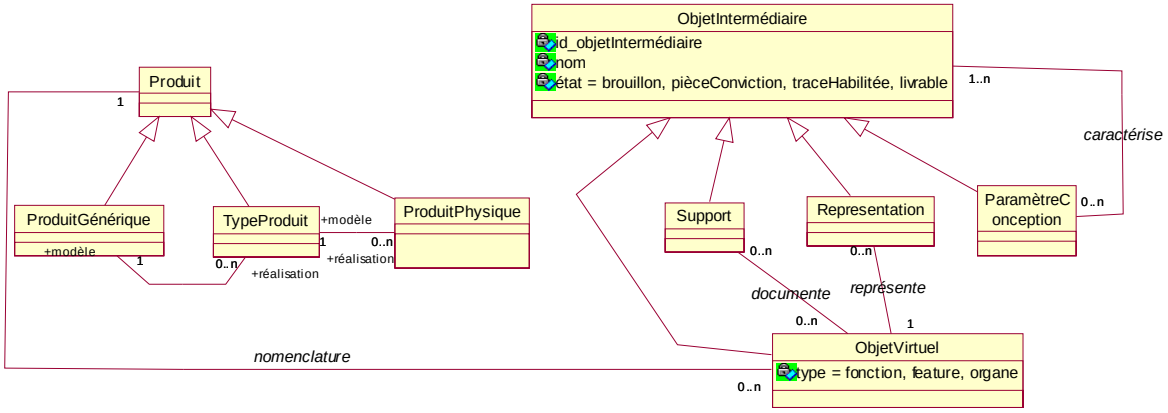


Figure 2 Méta modèle du modèle produit

ExplicationApplication

Dans une entreprise, les acteurs gèrent des produits et associe des nomenclatures, des documents et des paramètres de conception. Toutefois, certaines entreprises gèrent des "types de produit" telles que les entreprises qui conçoivent des produits en grande série, d'autres gèrent aussi des produits génériques appelés ligne ou gamme de produit. Des exemplaires sont gérés dans le cas de produit en grande série. Ce qui n'est pas le cas pour les produits uniques. Par ailleurs, le type et le nombre de nomenclatures utilisées pour décrire le produit varient aussi d'une entreprise à une autre. Certaines entreprises décrivent le produit par une seule nomenclature organique, d'autres distinguent la nomenclature d'étude de la nomenclature industrielle, de la nomenclature logistique, etc. Il en est de même pour les documents. A titre d'illustration, considérons le modèle partiel d'une centrale hydroélectrique étudiée au CIH (figure 3).

ModèleCasApplication

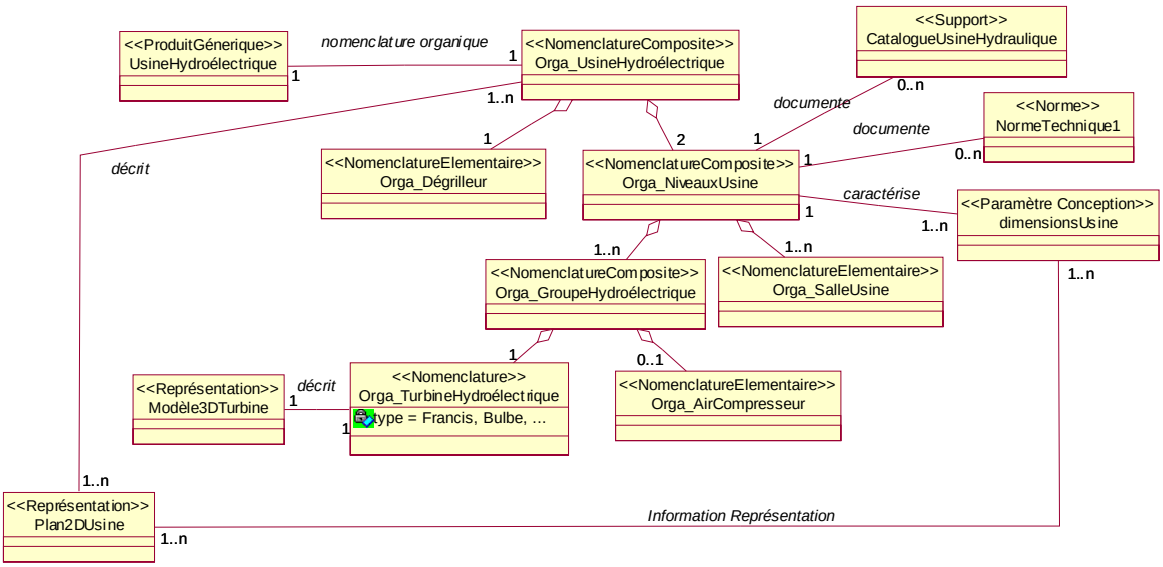


Figure 3 Modèle partiel de produit au CIH

Utilise

{Niveaux de Produit, Nomenclatures appliquées, Construire nomenclatures}

9.2.3 Patrons utilisés dans le patron « Identifier points de variabilité »

Les différents patrons utilisés dans le patron « Identifier points de variabilité » sont décrits en annexe 11. Nous nous contentons ici de les appliquer sur l'exemple de la figure 3 du patron « Identifier point de variabilité ».

Le patron « Niveaux de produit » (cf. annexe 11), réutilisé à partir du système de patron développé dans [Gzara 00], représente un patron produit et donne comme résultat les différents niveaux de produit gérés dans une entreprise ainsi que leur modélisation. Ce patron représente un ensemble de questions destinées au concepteur du système de gestion (cf. patron « Niveaux de produit » dans l'annexe 11). Lorsque le niveaux de produit est supérieur à un niveau, le patron « Niveaux de produit » fait appel à deux autres patrons : « Deux niveaux de produit » et « Trois niveaux de produit » [Gzara 00]. Dans notre patron, nous nous intéressons aux deux niveaux (générique et type-produit) qui constituent les niveaux de produit considérés dans les phases d'études (développement de produit). Pour illustrer le modèle résultat obtenu de l'application du patron « Niveaux de produit », nous reconsidérons l'exemple de modèle partiel présenté dans la figure 3 du patron « Identifier points de variabilité ».

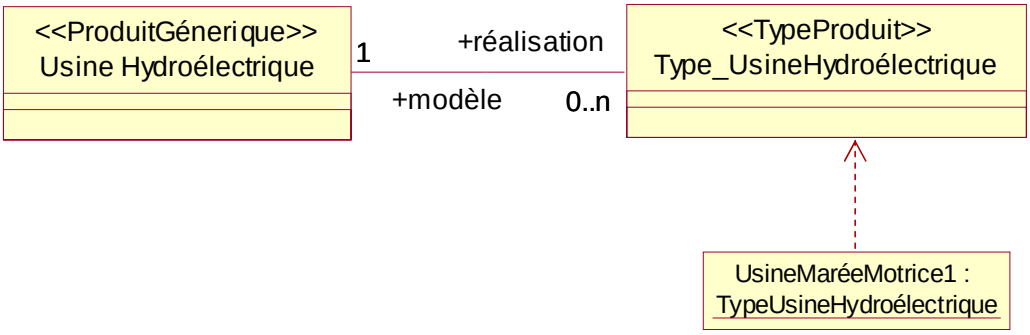


Figure 111 Exemple de modèle résultat obtenu de l'application du patron « Niveaux de produit »

L'exemple de la figure ci-dessus porte sur un produit générique étudié au Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH). Le produit représente une usine hydroélectrique. Plusieurs types d'usines sont considérés dans l'étude. L'exemple montre un type d'usine marée motrice[146].

Les patrons « Nomenclatures appliquées » et « Construire nomenclatures » (cf. annexe 11) identifient et facilitent la création des nomenclatures liées aux différents niveaux du produit.

[146] Centrale hydroélectrique construite dans un milieu sujet aux marées.

La typologie des nomenclatures et leurs contenus varie d'une entreprise à une autre. Cela ne constitue pas la seule raison de variabilité des nomenclatures. Les niveaux de produit gérés par l'entreprise constituent aussi une cause de variabilité. Par exemple, une nomenclature organique générique existe ou non selon que le niveau générique du produit soit géré ou non. D'autres éléments de variabilité des nomenclatures portent sur le contenu même de leurs composants (des nœuds) ainsi que la sémantique des liens de composition entre ces composants. Par exemple, dans la nomenclature organique générique, il existe des composants optionnels et des composants qui sont des variantes d'autres composants.

Pour illustrer le modèle obtenu des patrons « Nomenclatures appliquées » et « Construire nomenclatures », nous reconsidérons l'exemple du modèle partiel représenté dans le patron « Identifier points de variabilité ».

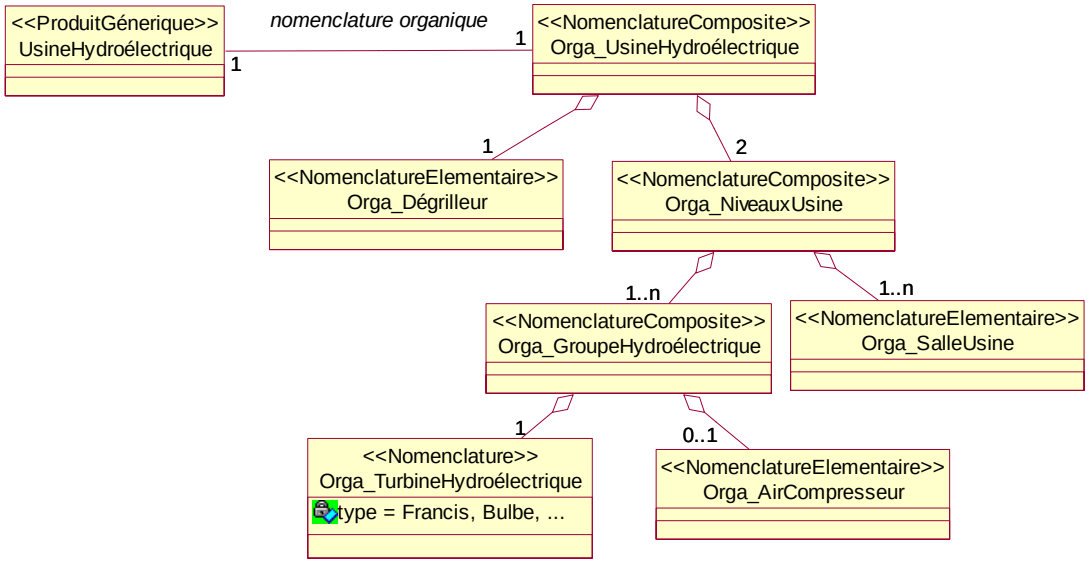


Figure 112 Exemple de modèle résultat de l'application des patrons « Construire nomenclature » et « Nomenclatures appliquées »

L'exemple constitue une nomenclature organique d'un produit générique (usine hydroélectrique) étudié au CIH. Cette dernière résulte de l'application du patron « Nomenclatures appliquées » dans le contexte du CIH. L'application du patron « Construire nomenclatures » révèle un certain nombre d'options et de variantes dans la nomenclature organique. Par exemple, un groupe hydroélectrique se constitue d'une turbine dont le type et le fonctionnement peut varier (turbine Francis, turbine, Bulbe, etc.). Aussi, l'air compresseur représente une option dans un groupe hydroélectrique.

Enfin, le patron associé aux documents sert à déterminer les divers documents « supports » ou « représentations » du produit et à associer ces documents aux différents niveaux de produit. Le patron "Documents appliqués" (cf. annexe 11) concourt à la réalisation du premier objectif. Il joue le même rôle que celui joué par le patron "Nomenclatures appliquées" associé aux nomenclatures. Il permet d'informer le concepteur du système des différents types de documents pouvant être associés à chacun des niveaux de produit gérés dans l'entreprise. Il permet par ailleurs de caractériser chacun des documents identifiés, selon qu'il s'agisse d'un document décrivant le produit (représentation) ou le documentant (support). Ce patron facilite l'activité « *Associer documents au produit* » dans le patron "Identifier points de variabilité" puisqu'il identifie pour chaque document, la nomenclature documentée qui lui est associée et caractérise leurs liens ("décrit"/"documente").

A titre d'illustration du modèle résultat obtenu par l'application du patron « Documents appliqués », nous reconsidérons le modèle résultat exposé dans le patron « Identifier points de variabilité ».

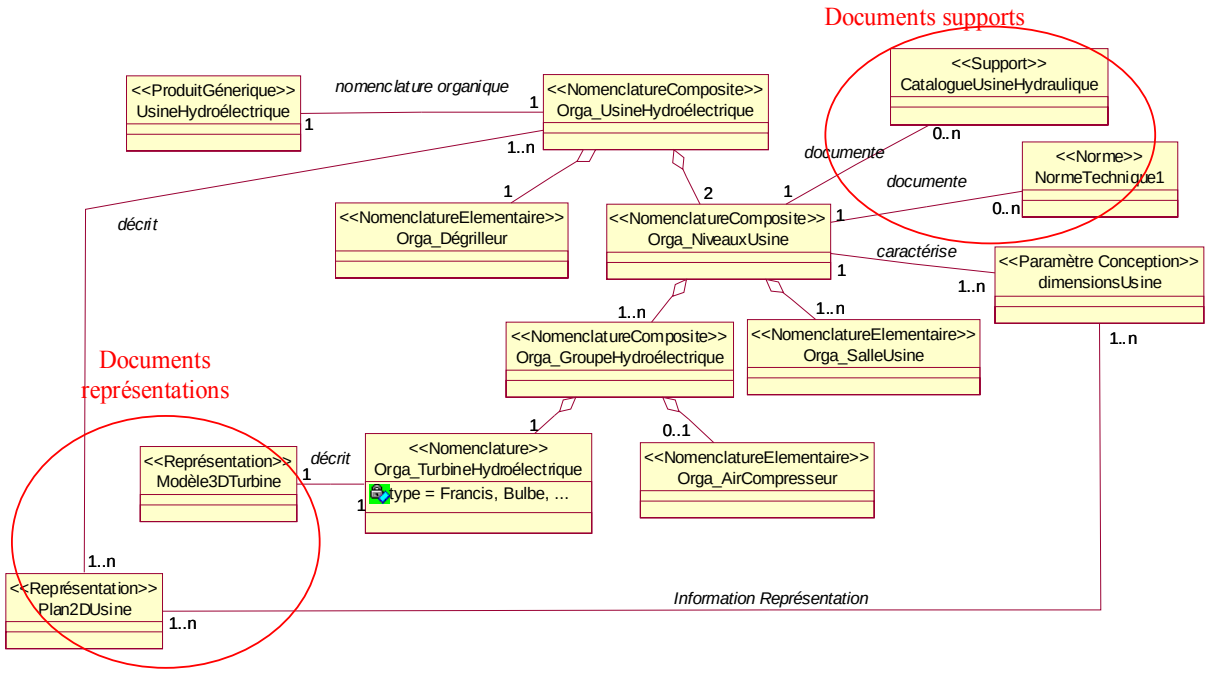


Figure 113 Exemple de modèle résultat obtenu de l'application du patron « Documents appliqués »

L'exemple ci-dessus, représente le résultat de l'application du patron « documents appliqués » dans le bureau d'étude CIH. Une turbine, par exemple, est documentée par un modèle 3D géométrique. Ce dernier sert à faire des calculs électromécaniques sur les écoulements à travers la turbine. Des documents supports tels qu'un catalogue d'usines hydroélectriques ou

une norme technique sont associés à la nomenclature organique d'une usine hydroélectrique au CIH.

9.2.4 Patron d'analyse : « Définir processus de développement de produit »

Ce patron a pour objectif de répondre à la question, posée par les chefs de projets, de savoir comment décomposer, renseigner et représenter un processus de développement de produit dans une entreprise.

Les processus de développement de produit varient d'une entreprise à une autre en termes de phases, de ressources employées et d'objets (intermédiaires) considérés. En outre, l'organisation du processus est variable et ne peut pas être explicité contrairement à celle du modèle produit. Le but de ce patron est de fournir aux experts (tels que les chefs de projet) une démarche de décomposition et d'identification des propriétés du processus de développement de produit. Ce patron fournit également une méthode générique permettant la représentation du processus. Cette démarche est destinée aux concepteurs de systèmes SGII.

La démarche décrite dans le patron « Définir processus de développement de produit » préconise d'abord une décomposition du processus. Pour ce faire, le patron « Décomposer processus de développement de produit » est utilisé. Ensuite, la démarche consiste à renseigner l'ensemble des différentes activités résultantes de la décomposition du processus. Cela revient à affecter les ressources (acteurs et rôles) ainsi que les objets entrants et sortants aux différents composants du processus. D'où l'application du patron « Renseigner processus de développement de produit ».

La démarche consiste ensuite à exprimer les différents types de liens de dépendance entre les différents composants du processus de développement. Pour ce faire le patron « Exprimer dépendances » est appliqué. Cela permet de tisser le réseau de dépendance des objets qui est très utile pour la gestion du processus (gestion de la diffusion des informations, gestion des modifications, etc.)

Cette dernière étape prépare les éléments nécessaires pour modéliser le processus de développement de produit. D'où l'application du patron « Modéliser processus de développement » par le concepteur du SGII.

Indépendamment des autres patrons utilisés dans le patron « Définir processus de développement de produit », la démarche propose l'application de deux patrons de documentation : « Définir états d'un objet intermédiaire » et « Définir états d'une activité planifiée », afin de documenter (définir) les diagrammes d'états transitions proposés dans le patron « Définir processus de développement de produit » (figure 3 et figure 4 dans le patron « Définir processus de développement de produit » ci-dessous). Ces derniers permettent de définir les différents états par lesquels un objet intermédiaire et une activité planifiée passent respectivement, pendant le déroulement du processus. L'application de ces patrons de documentation n'est pas nécessaire. Elle permet une meilleure compréhension des diagrammes d'états transitions proposés.

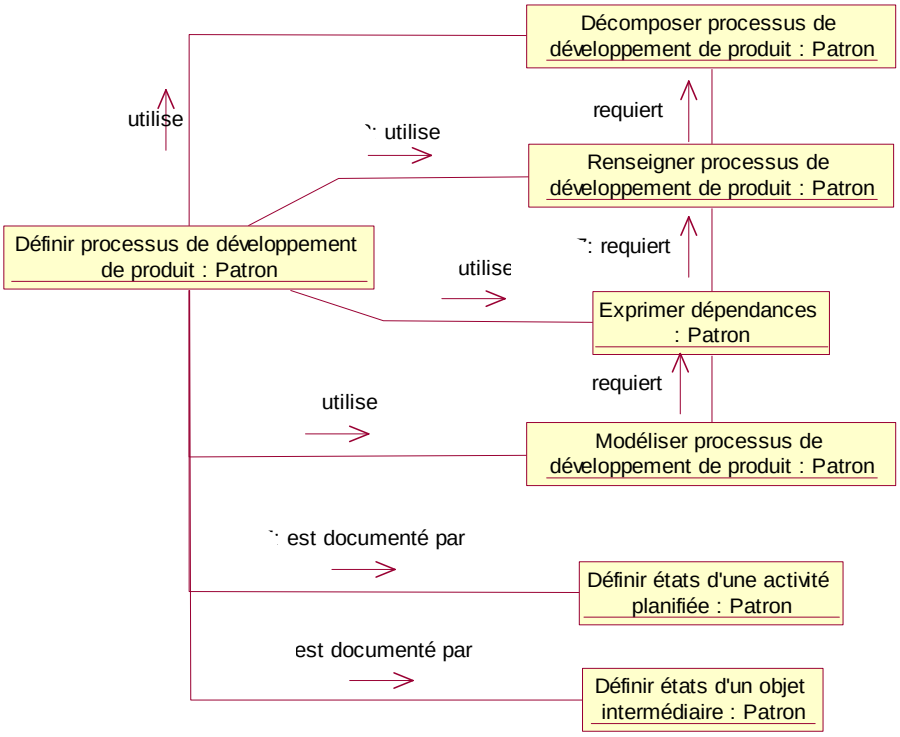


Figure 114 Liens entre patrons utilisés dans le patron « Définir processus de développement de produit ».

Par ailleurs, l'application du patron « Renseigner processus de développement de produit » requiert d'abord l'application du patron « Décomposer processus de développement de produit » (figure 114). L'application du patron « Exprimer dépendances » demande l'application au préalable du patron « Renseigner processus de développement » car pour identifier le type de liens entre les activités, il est nécessaire d'identifier d'abord les objets entrants/sortants associés. En outre, l'application du patron « Modéliser processus de

développement » requiert l'application du patron « Exprimer dépendances». Enfin le patron « Définir cycle de vie d'une activité » repose aussi sur l'application du patron « Exprimer dépendances » (figure 114).

Les diagrammes d'activités obtenus de l'application de ce patron ainsi que les cycles de vie des activités du processus peuvent servir à implanter un *Workflow* associé au processus de développement de produit dans un outil tel que *Piquant.*

Dans le paragraphe suivant, nous présentons l'ensemble des patrons : « Décomposer processus de développement de produit », « Renseigner processus de développement », « Exprimer dépendances », « Modéliser processus de développement » et « Définir cycle de vie d'une activité » à travers le cas d'application exposé dans patron «Définir processus de développement de produit » ci-dessous.

Patron : **Définir processus de développement de produit** ***Formalisme :*** ***Formalisme P-SGII***

Nom
Définir processus de développement de produit
Domaine
Processus, analyse des besoins et modélisation
Classification
Patron processus.
Contexte
Ce patron nécessite l'application du patron « Identifier points de variabilité » pour être appliqué.
Probleme
Définir le processus de développement de produit ; c'est-à-dire le décomposer, identifier les liens entre ses composants, ensuite le représenter.
Force
Ce patron permet, d'une part aux membres responsables du projet (principalement le chef de projet) de décomposer le processus de développement de produit en activités selon une démarche générique, basée sur un ensemble de critères de décomposition indépendants des spécificités des entreprises. Cela dit, ce patron permet aussi de considérer d'autres critères spécifiques à l'entreprise. D'autre part, il permet au concepteur du système SGII de modéliser le processus associé.
ExplicationDemarche

1. Décomposer le processus de développement de produit en composants. Pour cela, appliquer le patron « Décomposer le processus de développement de produit ».
2. Renseigner les différents composants du processus de développement de produit. Pour cela appliquer le patron « Renseigner le processus de développement de produit ».
3. Etablir les différentes dépendances entre activités du processus. Pour cela appliquer le patron « Exprimer les dépendances entre activités »
4. Modéliser le processus de développement de produit. Pour ce faire, appliquer le patron « Modéliser le processus de développement de produit ».
5. Définir le cycle de vie d'une activité du processus de développement de produit. Pour cela appliquer le patron « Définir le cycle de vie d'une activité ».

DiagActivitéDémarche

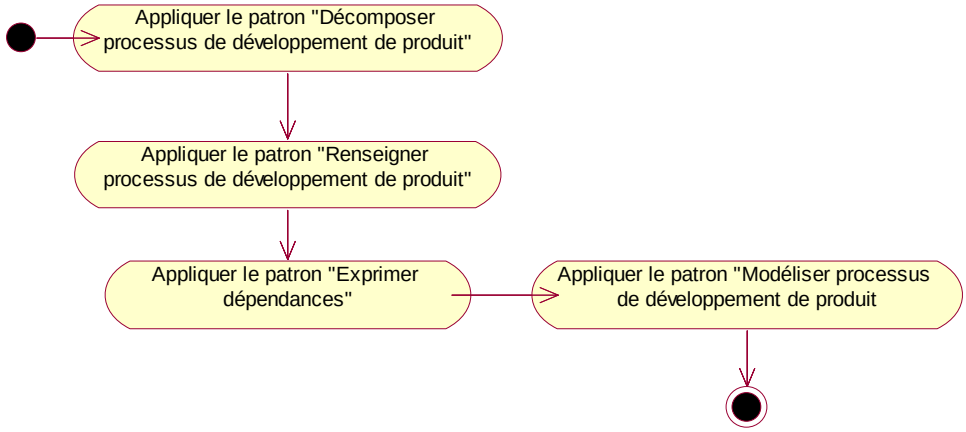


Figure 1 Démarche de définition d'un processus de développement de produit

Explication Modèle

L'application de ce patron fournit une définition du processus de développement de produit ainsi que sa représentation à travers les diagrammes d'activités (figure 5, 6 et 7). Ces derniers représentent des instances du méta modèle de la figure 2. Le cycle de vie d'une activité est un autre résultat de ce patron. (figure 3 et 4)

MétaModele

Le méta modèle ci-dessous représente le modèle de processus générique dont l'instanciation donne le modèle de processus de l'entreprise. Ce dernier est représenté sous forme de diagrammes d'activité UML (figures 5, 6 et 7) dont les objets sont stéréotypés selon les noms des classes définis dans le méta modèle de la figure 2 ci-dessous.

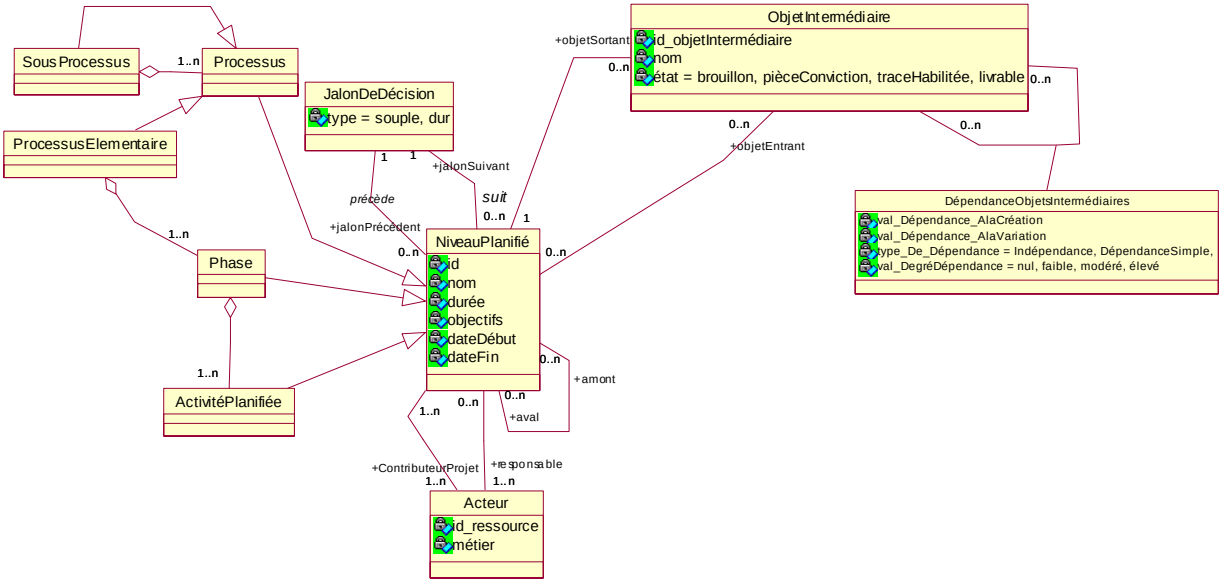


Figure 2 Méta modèle représentant la définition d'un processus de développement de produit.

EtatTransitionModèle

Les métas modèles ci-dessous représentent le comportement des objets intermédiaires et des activités planifiées pendant un processus de développement de produit. Pour plus de détails sur la signification des états des objets intermédiaires et des activités, se reporter aux patrons de documentations : « Définir états d'un objet intermédiaire » et « Définir état d'une activité planifiée » respectivement. Les conditions sur les

transitions sont aussi expliquées dans ces patrons de documentation.

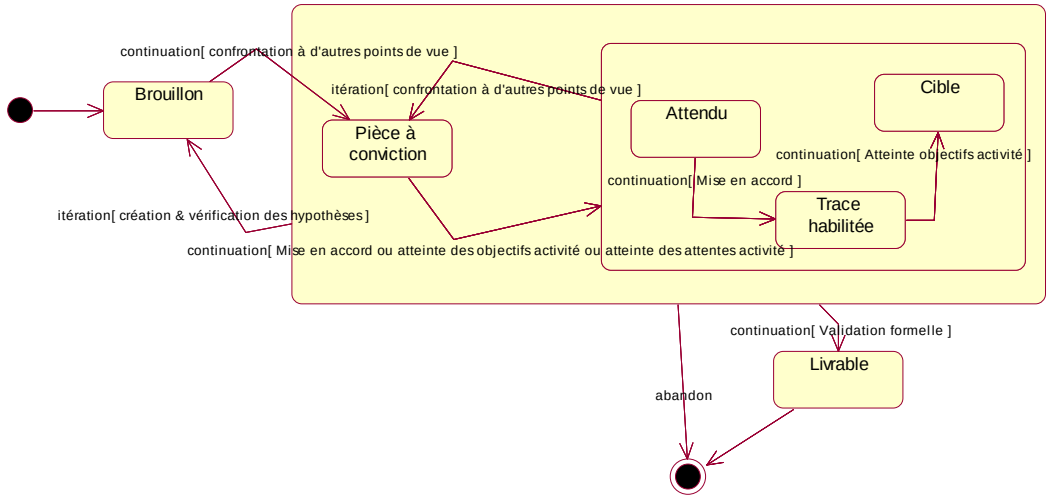


Figure 3 Cycle de vie d'un objet intermédiaire

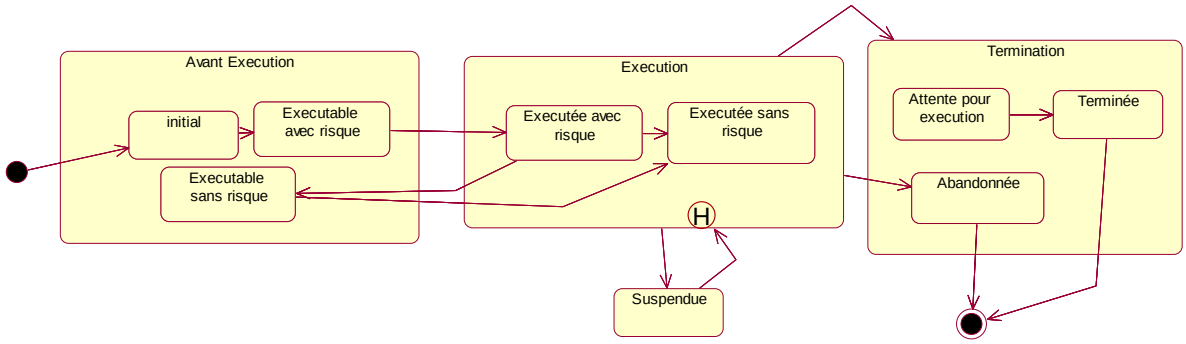


Figure 4 Cycle de vie d'une activité planifiée du processus de développement de produit

ExplicationCasApplication

Prenons comme exemple le processus de développement d'un produit hydraulique du Centre d'Ingénierie Hydraulique rattaché à l'entreprise EDF. Le processus est d'abord décomposé par le chef de projet en sous processus (réponse appel d'offre, études et réalisation), en phases (faisabilité, avant projet sommaire et avant projet détaillé) et en activités. Ensuite, le chef de projet désigne les responsables de chaque activité planifiée. Il se désigne également responsable du processus et des phases. Il affecte les objets entrant/sortant du processus et des phases. Cependant les objets entrant/sortant des activités sont affectés par les responsables d'activité (contributeur) associés. Les différents liens de dépendance entre les activités sont ensuite indiqués par les responsables des activités.

Une fois les différents composants identifiés et renseignés, le concepteur du SGII, peut modéliser le processus sous forme de diagrammes d'activités (figure 5, 6 et 7). Les objets intermédiaires et les activités planifiées ont des comportements conformes aux diagrammes d'états transitions représentées dans les figures 3 et 4.

ModèleCasApplication

Les différents diagrammes d'activités représentés ci-dessous représentent des instances du méta modèle décrit les figures 2, 3 et 4. Les différents stéréotypes dans ces diagrammes d'activités représentent soit des noms/rôles des classes de la figure 2, tels que : objet intermédiaire, processus, responsable, etc. le type de lien « interdépendance » est représenté par une super activité qui englobe la totalité des activités impliquées dans l'interdépendance (figure 7).

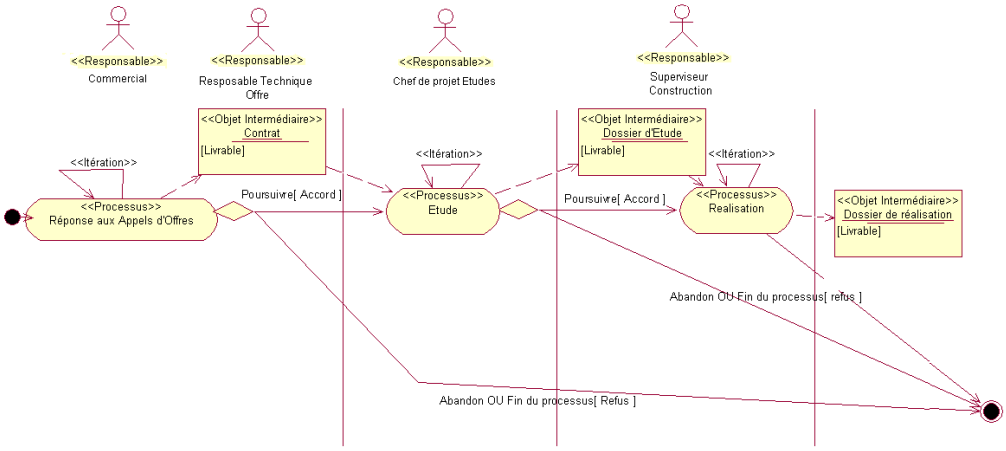


Figure 5 Modélisation niveau processus (au CIH)

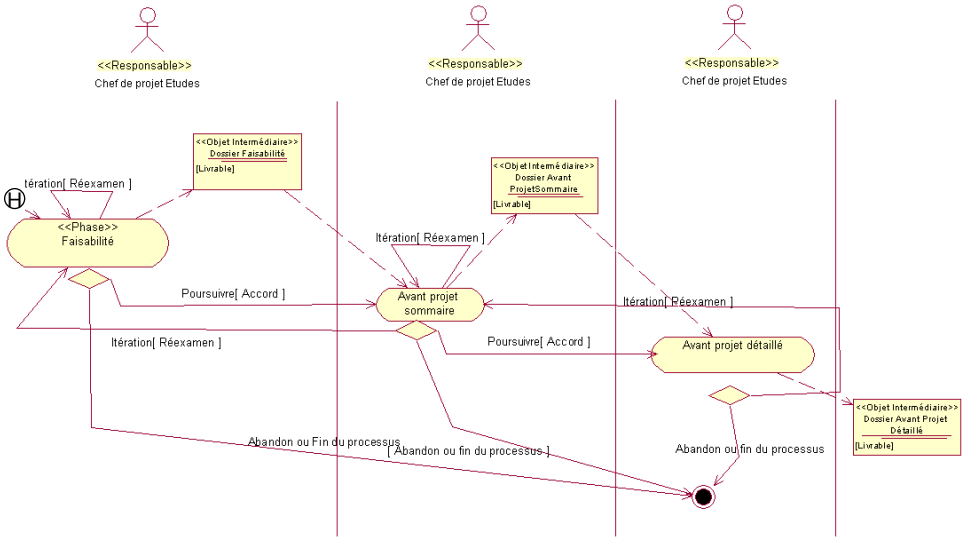


Figure 6 Modélisation du niveau phase (au CIH)

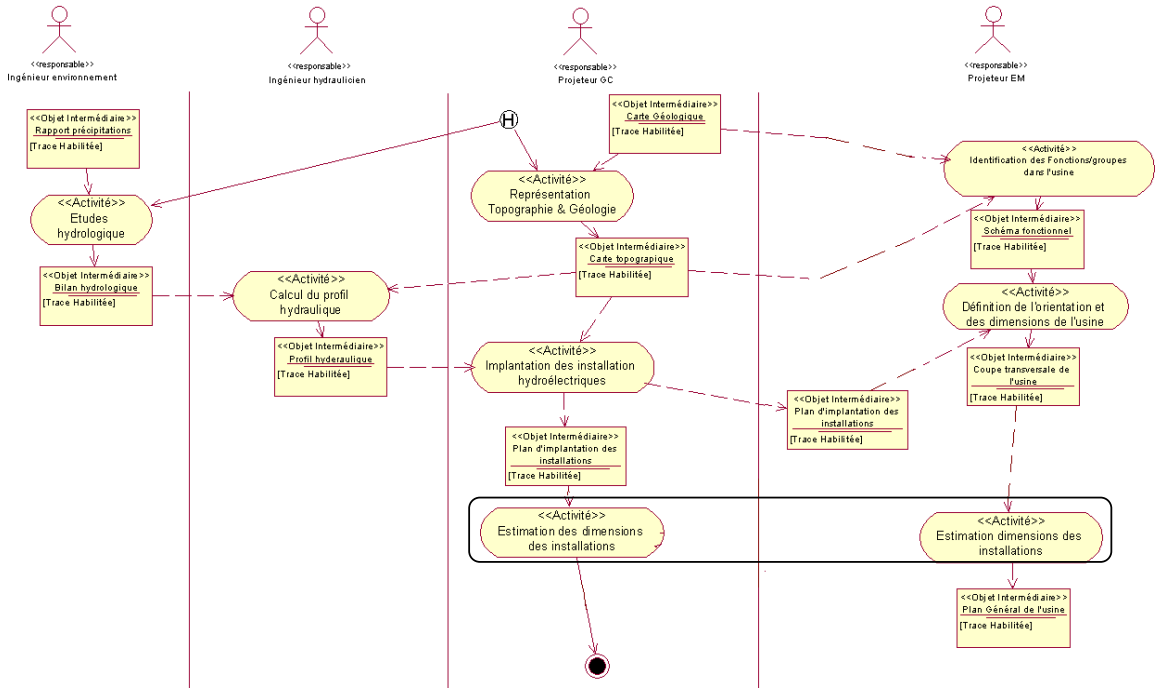


Figure 7 Modélisation du niveau activité (au CIH)

Utilise
{Décomposer processus de développement de produit, Renseigner processus de développement de produit, Exprimer dépendances, Modéliser processus de développement de produit}
Requiert
{Identifier points de variabilité}
Est documenté par
{Définir états d'un objet intermédiaire, Définir états d'une activité planifiée}

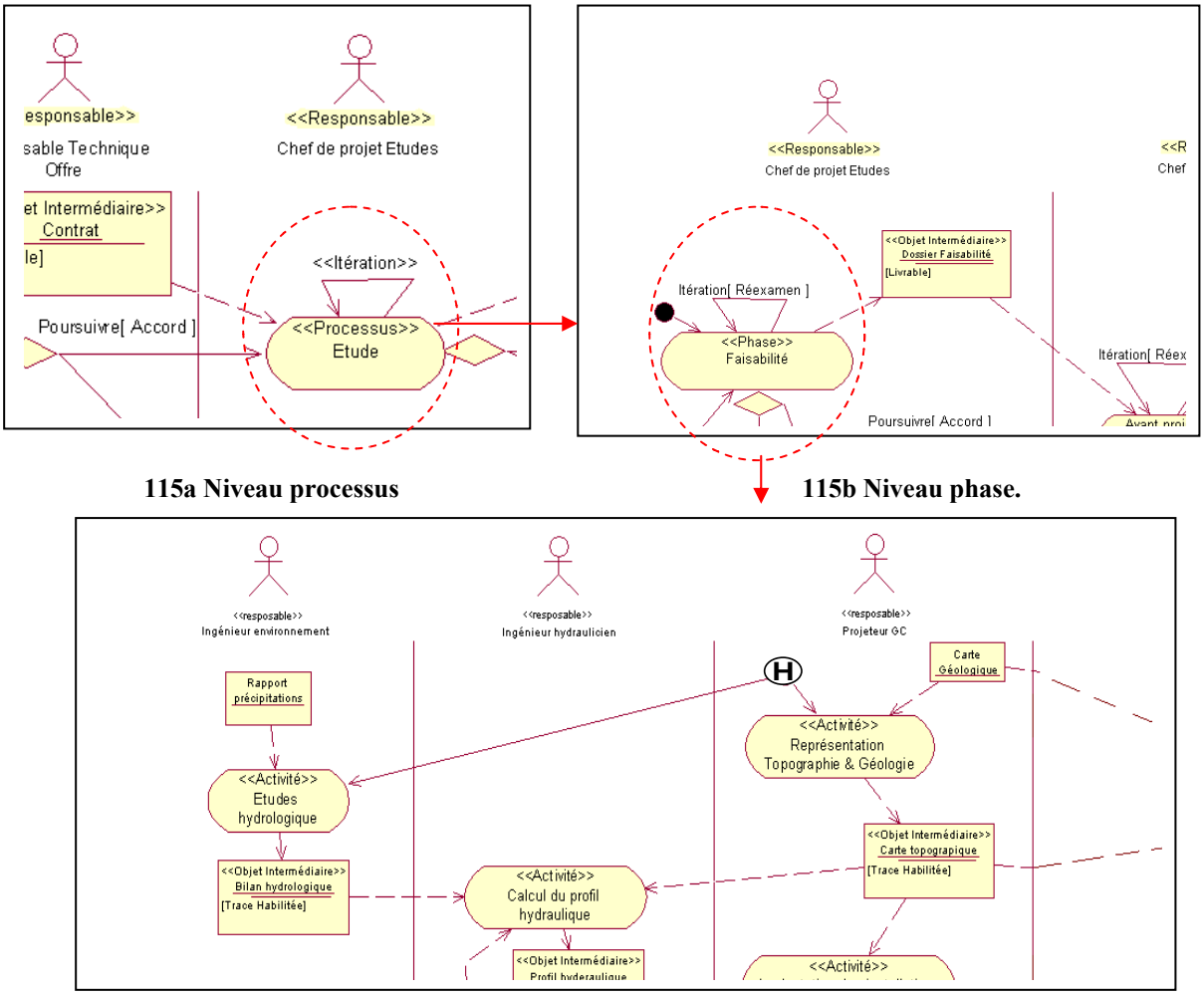
9.2.5 Patrons utilisés dans le patron « Définir processus de développement de produit »

Le patron « Décomposer processus de développement » (cf. annexe 11) constitue une démarche générique qu'un expert tel qu'un chef de projet peut suivre afin de décomposer le processus de développement de produit dont il est responsable. Cette démarche permet aussi au chef de projet d'analyser les constituants de son processus. Cette démarche consiste d'abord à choisir les critères de décomposition du processus qui peuvent porter sur le raffinement des objectifs, sur le changement d'état attendu du produit (*concept produit, géométrie du produit, etc.*), sur le changement d'acteur (rôle), etc. Une fois les critères de décomposition définis, il convient de décomposer le processus de développement en suivant des règles de décomposition.

Afin d'illustrer le modèle résultat de l'application du patron « décomposer le processus de développement de produit », nous considérons le processus de développement de produit

hydroélectrique présenté dans le cas d'application du patron « Définir processus de développement ».

Le chef de projet procède d'abord à la décomposition de l'objectif général qui est de définir un produit hydroélectrique en trois sous objectifs : (1) la *contractualisation du projet* de développement avec le client, (2) *l'étude de conception* du produit et enfin (3) *la réalisation* du produit (figure 115a). Ensuite la tâche du chef de projet consiste à décomposer le sous processus d'*étude* par exemple, selon le changement d'état attendu du produit en trois phases : phase de faisabilité, avant projet sommaire et avant projet détaillé (figure 115b).



115a Niveau processus

115b Niveau phase.

Figure 115c Niveau activité

Figure 115 Décomposition du processus de développement de produit hydroélectrique

Le chef de projet ayant identifié les sous objectifs liés à chaque phase, procède à l'identification des problèmes traités dans chaque phase. Pour la phase de faisabilité, par exemple, il identifie les activités : *étude hydraulique, implantation des installations, etc.* qui

sont réalisées par des acteurs différents (*ingénieur hydraulicien, projeteur génie civil, etc.*) (cf. figure 115c).

L'application du patron « Renseigner processus de développement » permet d'associer aux différents processus, phases et activités, les ressources nécessaires à leur exécution. Il s'agit d'associer les différents rôles aux sous processus, phases ou activités correspondants. Par exemple, le rôle *chef de projet étude* est associé au sous processus d'étude (figure 115a) et le rôle *d'ingénieur hydraulicien* est affecté à l'acteur responsable de l'activité *calcul du profil hydraulique*, etc. (figure 115c). L'expert (le chef de projet en l'occurrence) désigne également les objets en entrée et en sortie de chaque sous processus, phase ou activité. Ces objets représentent des documents, des nomenclatures, etc. définis dans le patron « Identifier points de variabilité » et correspondent à différents états du produit (dans le cas des phases), à différents résultats relatifs aux différents problèmes (dans le cas des activités), etc.
A titre d'illustration, le chef de projet associe l'objet *dossier de faisabilité* à la sortie de la phase de faisabilité (figure 115b).

Une fois les différents niveaux du processus identifiés et l'ensemble des ressources affectées, il s'agit d'exprimer les types de dépendance entre les différentes activités du processus (figure 115c) : *la dépendance simple, la dépendance couplée et l'interdépendance* (cf. §7). Pour ce faire, il convient d'appliquer le patron « Exprimer dépendances » (cf. annexe 11). Ce patron est appliqué au plus bas niveau de décomposition du processus (niveau activité) car désigner les types de dépendance entre les activités du processus implique la désignation des types de dépendance entre les phases et ainsi de suite.
L'expression des dépendances entre activités revient à l'expression des dépendances entre les objets intermédiaires échangés entre ces activités. Les dépendances considérées portent donc sur le flot de données (en terme de modélisation du SI).

Comme il est exposé dans le chapitre 6 pour identifier ces types de dépendance, nous proposons d'abord d'identifier les attributs de dépendance « *à la création* » *et* « *à la variation* ». En fonction des valeurs de ces derniers, les trois types de dépendance sont identifiés.

Nous rappelons que le critère *à la création* exprime le fait que l'existence d'un objet (ou l'exécution d'une activité) est dépendante de l'existence d'un autre objet (ou dépendante de l'exécution d'une autre activité). Le critère *à la variation* exprime le fait que la variation d'un

objet dépend de la variation d'un autre objet (ou l'itération d'une activité dépend de l'itération d'une autre activité).

Cela dit, les valeurs des critères de dépendance représentent les *valeurs des critères de maturité attendues* des objets impliqués dans la dépendance. En effet, pour estimer la valeur du critère à la création entre un objet 1 et un objet 2, nous estimons la valeur de la complétude de l'objet 1 requise (ou attendue) pour la production de l'objet 2. Aussi pour estimer la valeur du critère à la variation entre ces deux objets, il convient d'estimer d'abord la variation de l'objet 1, puis d'estimer la sensibilité de l'objet 2 aux variations de l'objet 1 (ou la variation de l'objet 2 en fonction de la variation de l'objet 1).

A titre d'illustration, reconsidérons le cas d'application présenté dans la figure 115c. Le type de dépendance entre l'objet *profil hydraulique* (produit par l'activité *calcul du profil hydraulique*) et l'objet *plan d'implantation des installations* (produit par l'activité *implantation des installations hydroélectriques*) est exprimé par les attributs suivants :

- *à la création* par l'estimation de la valeur de la complétude requise du *profil hydraulique* pour la réalisation du *plan d'implantation*, qui est dans ce cas une valeur élevée[147].
- *à la variation* par l'estimation de la variation du *plan d'implantation* en fonction de la variation du *profil hydraulique*, qui est dans ce cas élevée[148].

Ainsi l'application du patron « Exprimer dépendances » utilise le patron « Définir critères de maturité » et requiert l'application du patron « Renseigner processus de développement » (figure 116).

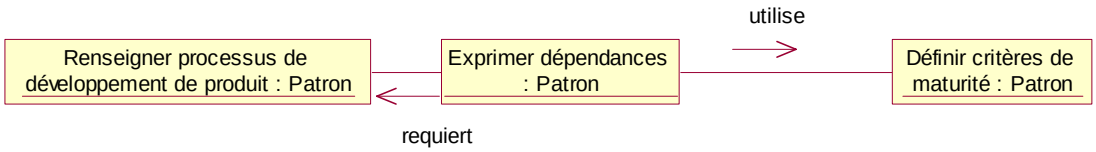


Figure 116 Liens entre le patron « Exprimer dépendances » et les patrons utilisés/requis

Une fois tous les éléments du processus de développement définis, le concepteur du SGII pourra modéliser ce processus. Pour ce faire il doit appliquer le patron « Modéliser processus de développement » (cf. Annexe 11). Le résultat de ce patron représente une modélisation des

[147] Pour estimer l'emplacement des installations dans le site, il faut estimer la hauteur de chute. Cette dernière dépend fortement de l'estimation du débit amont, de l'acheminement des canalisations du barrage à la centrale, etc. Toutes ces informations figurent dans le profil hydraulique et sont aussi importantes les unes que les autres pour définir l'emplacement et l'orientation des installations dans le site.

[148] A titre indicatif, la variation du débit amont de quelque cm^3/sec impliquerait un changement de la hauteur de chute de quelques mètres ce qui représente une différence importante dans le positionnement de l'usine, des conduites forcées (conduites faisant le lien entre le barrage et l'usine), etc.

différents niveaux de décomposition du processus de développement sous forme de diagrammes d'activités UML (cf. figure 114). Toutefois nous signalons que l'application de ce patron fait appel à un autre patron qui permet la représentation des dépendances entre les activités sous forme de diagrammes d'activités UML. Ce dernier est le patron « Modéliser dépendances » (cf. annexe 11).

Indépendamment de l'application des patrons utilisés dans le patron « Définir un processus de développement de produit », le concepteur du SGII peut se documenter sur les états par lesquels passent un objet intermédiaire et une activité planifiée pendant le déroulement du processus. Pour ce faire, il applique les patrons de documentation « Définir états d'un objet intermédiaire » et « Définir états d'une activité planifiée » respectivement (cf. annexe 11). Le résultat obtenu de ces derniers documente les diagrammes d'états transitions d'un objet intermédiaire et d'une activité respectivement, présentés dans les figures 3 et 4 du patron « Définir un processus de développement de produit ».

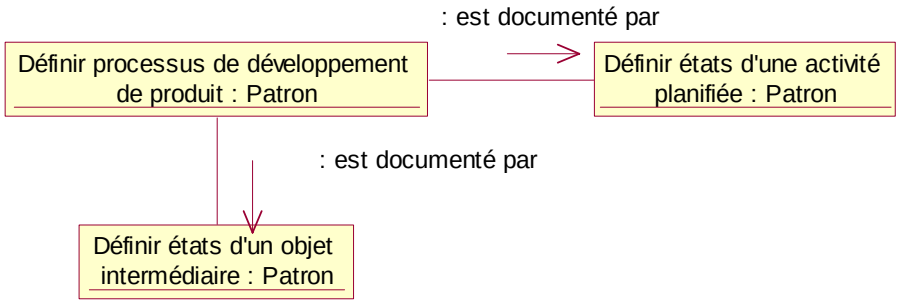


Figure 117 Patrons de documentations du patron « Définir un processus de développement de produit »

9.2.6 Patron « Définir critères de maturité »

Il s'agit, à travers ce patron, d'identifier et de modéliser les critères de maturité associés aux objets entrants/sortants des activités du processus de définition d'un produit. Nous distinguons quatre dimensions liées à la maturité d'un objet : la maturité de l'objet en sortie de l'activité (*maturité en sortie*), la maturité de l'objet en entrée d'une activité (*maturité en entrée*), la *maturité intrinsèque* de l'objet et la complétude.

En effet, pendant une activité donnée, un objet peut être appelé à changer de valeur[149].

[149] La notion de valeur d'un objet est celle d'un objet intermédiaire définie dans le chapitre 3. La valeur d'un objet représente la valeur des paramètres de conception qui lui sont associés.

Ce changement constitue, par exemple, la variation de l'objet due à des opérations effectuées pendant l'activité considérée. Dans ce cas, la variation constitue un qualifiant de l'objet à la sortie de l'activité.

D'autre part, un objet à la sortie d'une activité peut être impacté par la variation d'un autre objet (ou d'autres objets) utilisé(s) à l'entrée de cette activité. Dans ce cas, la mesure de l'impact constitue un qualifiant de l'objet à l'entrée d'une activité.

Par ailleurs, le changement survenant sur un objet qu'il soit le résultat des tâches effectuées pendant une activité ou le résultat de l'impact induit par la variation des objets en entrée de l'activité, est toujours de nature donnée (imprécision, degré de détail, degré d'abstraction, etc.). Cet aspect représente le sujet du changement et est intrinsèque à l'objet. Par exemple un changement survenu sur un paramètre numérique prend l'aspect d'une imprécision numérique.

Un quatrième qualifiant de la maturité est la complétude. Ce dernier représente le degré d'aboutissement d'un objet à sa forme finale (à la fin du processus de définition de produit). Ce critère est représenté par deux critères qui sont la maturité intrinsèque et le degré d'adéquation de l'objet aux objectifs des activités qui l'utilisent. En effet, un objet est jugé complet s'il a un degré de détail maximal, par exemple, et est adéquat aux objectifs des activités qui l'utilisent.

L'application du patron « Définir critères de maturité » requiert l'application du patron « Identifier points de variabilité », car il est d'abord nécessaire de fixer le modèle de produit avant de définir les critères de maturité intrinsèque.

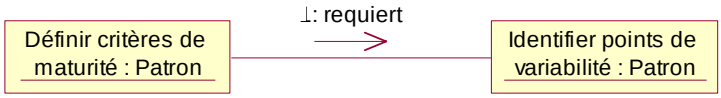


Figure 118 Liens entre le patron « Définir critères de maturité et le patron « Identifier points de variabilité »

Patron : **Définir critères de maturité** ***Formalisme :*** ***Formalisme P-SGII***

Nom

Critères de maturité

Domaine

Gestion, analyse besoin et modélisation

Contexte

Ce patron demande l'application du patron « Identifier points de variabilité » pour être appliquer. .

Probleme

Identifier les critères qui servent à qualifier l'évolution d'un objet entrant/sortant du processus de définition de produit.

Force

Ce patron représente une démarche générique qui permet au concepteur (en collaboration avec l'expert de l'entreprise) d'identifier les critères de maturité nécessaires pour la qualification d'un objet entrant/sortant (identifier dans le processus de définition de produit). Ces critères permettent l'évaluation des objets dans le processus et par conséquent une meilleure utilisation de ces derniers.

ExplicationDemarche

Il s'agit d'identifier les critères de maturité d'un objet intermédiaire. Pour chaque critère de maturité, on associe un type énuméré de valeur où chaque valeur est définie par un triplet (nom, valeur, représentation).

A. Identifier les critères de maturité, pour ce faire appliquer la procédure A.

Procédure A

1. Fixer la Maturité en entrée : Pour cela répondre à la question: Avec quel(s) qualifiant(s) mesurer l'impact induit sur la valeur d'un objet en entrée d'une activité donnée ? La réponse à cette question fournit le nom et la description du critère de maturité input.

2. Fixer la Maturité en sortie. Pour cela, répondre à la question : Avec quel(s) critère(s) qualifier un objet en sortie d'une activité donnée ? La réponse à cette question fournit le nom et la description du critère de maturité output.

3. Fixer la Maturité Intrinsèque. Pour cela répondre aux questions suivantes :

    1. De quel objet s'agit-il (paramètre, nomenclature ou document)?

    2. Avec quel(s) qualifiant mesurer intrinsèquement l'évolution d'un objet dans le processus?

        3. Si l'objet est un paramètre, les critères de maturité intrinsèques possibles sont : la précision numérique ou la précision catégorique.

        4. Si l'objet est une nomenclature ou un document, les maturités intrinsèques possibles sont: le degré de détail et/ou le degré d'abstraction.

4. Fixer la Complétude. Pour cela fixer d'abord la maturité intrinsèque (cf. &3) ensuite répondre à la question suivante : Avec quel qualifiant mesurer le degré d'adéquation d'un objet aux objectifs des activités qui l'utilisent ? La réponse à cette question fournit le nom et la description du critère permettant la mesure du degré d'adéquation d'un objet aux objectifs d'une activité.

B. Associer des types aux critères de maturité.

1. Définir un type de valeur du critère « maturité en entrée ». Pour cela, appliquer la procédure B.1.

Procédure B.1

1. Le nom qui est de type chaîne de caractère, icône, couleur, etc. (Par exemple : "insensible", "sensible" et "très sensible").
2. Le niveau qui est de type numérique représentant l'importance de la valeur, telle qu'une échelle numérique (par exemple : 0, 1,2...). Chaque niveau de la valeur (de l'échelle) est associé à un nom de valeur (par exemple: le niveau "1" correspond au nom de la valeur "insensible").
3. La représentation qui peut être sous forme d'un tableau dont les colonnes représentent : la durée nécessaire pour intégrer les modifications dans l'activité, la valeur de variation minimum de l'objet et la valeur de variation maximum de l'objet, associées à la durée d'intégration de la modification.

3. Définir un type de valeur du critère « maturité en sortie ». Pour cela, appliquer la procédure B.2.

Procédure B.2

1. Le nom qui est de type chaîne de caractère, icône, couleur, etc. (Par exemple : stable, variable, instable).
2. Le niveau qui représente l'importance de la valeur, par exemple sur une échelle numérique (par exemple : 0, 1,2...), un pourcentage, etc. chaque niveau de la valeur est associé à un nom de valeur (par exemple: le niveau "1" correspond au nom de la valeur "stable").
3. La représentation qui peut être sous forme d'un tableau dont les colonnes représentent : la valeur minimum de l'objet, la valeur maximum de l'objet, le taux de variation (obtenu des valeurs max et min) et le temps associé (qui peut une date, une heure, etc.).

4. Définir un type de valeur du critère « degré d'adéquation ». Pour cela, appliquer la procédure B.3.

Procédure B.3

1. Le nom qui représente une chaîne de caractère telle que: non adéquat, partiellement adéquat et adéquat.
2. Le niveau d'adéquation qui représente un chiffre (1, 2 et 3) ou un pourcentage, etc. Chaque niveau est associé à un nom de valeur. par exemple: une valeur "non adéquat" est associée au niveau "1".
3. La représentation peut être sous forme de tableau de deux colonnes : les objectifs de l'activité utilisant l'objet et le degré d'adéquation de l'objet aux objectifs.

5. Définir un type de valeur du critère complétude. Pour cela, appliquer la procédure B.4.

Procédure B.4

1. Le nom qui représente un attribut de type chaîne de caractères, icône ou couleur, etc. (par exemple : "de Complétude nulle", "très partiel", "partiel" et "complet").

2. Le niveau : attribut de type numérique (1,2,..), pourcentage, etc. représentant l'importance de la valeur (sur une échelle numérique par exemple). Chaque niveau de valeur est associé à un nom de valeur, par exemple: le niveau (1) correspond au nom "très partiel").

3. La représentation peut être sous forme de tableau dont les colonnes sont : "degré d'adéquation aux objectifs de l'activité qui utilise l'objet et "niveau de maturité intrinsèque" (défini ci-dessus).

5. Définir un type de valeur du critère « maturité intrinsèque ». Pour cela, appliquer la procédure B.5

Procédure B.5

1. Le nom qui représente un attribut de type chaîne de caractères, icône ou couleur, etc. (par exemple : imprécis, modérément précis et précis).

2. Le niveau qui représente un attribut de type numérique (1,2,..), pourcentage, etc. représentant l'importance de la valeur (sur une échelle numérique par exemple). Chaque niveau de valeur est associé à un nom de valeur, par exemple: le niveau "1" correspond au nom "imprécis")

3. La représentation : nous distinguons plusieurs représentations selon le type de maturité intrinsèque considérée: imprécision, abstraction ou degré de détail.

    1. Si la maturité intrinsèque considérée est l'imprécision numérique (il s'agit d'un paramètre de conception), alors la représentation est un tableau de 3 colonnes : (1) valeur maximum à atteindre, (2) valeur minimum à atteindre et (3) valeur nominale. Chaque triplet (valeur max., valeur nominale, valeur min.) correspond à un niveau de la valeur que l'acteur producteur définit.

    2. Si la maturité intrinsèque considérée est l'imprécision catégorique (il s'agit d'un paramètre de conception), alors la représentation est une liste de chaînes de caractères séparée par un opérateur OU. Chaque liste de chaînes de caractères correspond à un niveau de la valeur.

    3. Si la maturité intrinsèque considérée est l'abstraction (il s'agit d'une nomenclature, d'une représentation ou d'un support) alors la représentation est un tableau de deux colonnes: (1) variantes possibles pouvant composer l'objet, (2) variantes de l'objet considérées actuellement. Chaque couple de valeur du tableau correspond à un niveau de la valeur.

    4. Si la maturité intrinsèque considérée est le degré de détail (il s'agit d'une nomenclature, d'une représentation ou d'un support) alors la représentation est un tableau de 2 colonnes: (1) énumération de la totalité des composants (y compris les caractéristiques) de l'objet, (2) énumération des composants définis actuellement. Chaque valeur des colonnes (1) et (2) correspond à un niveau de la valeur.

ExplicationModele

L'application de ce patron permet la définition et la représentation des critères de maturité dans le système. Le résultat correspond à une instanciation du méta modèle ci-dessous.

MétaModele

Le méta modèle ci-dessous représente le modèle de maturité générique dont l'instanciation donne le modèle de maturité associé à un projet de développement dans une entreprise. Dans la figure 1 ci-dessous, les critères de maturité sont associés aux objets intermédiaires et aux activités planifiées d'un processus de développement de produit. Les instances des critères de maturité sont donc associées aux instances des objets du processus de développement de produit.

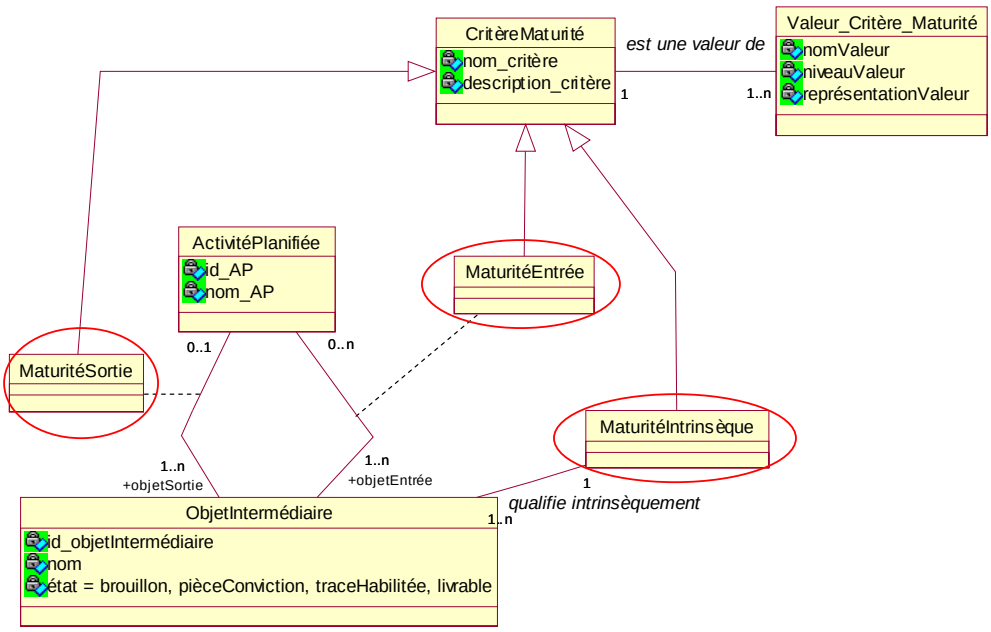


Figure 1 Méta modèle représentant les critères de maturité.

ExplicationCasApplication

Pendant l'exécution d'un processus de définition de produit, les objets entrants/sortants ne sont pas tous finalisés et validés. Avec les conditions de délais de plus en plus courts, les acteurs (producteurs et utilisateurs des objets) doivent réaliser leurs activités en se basant sur des objets entrants/sortants qui sont immatures, c'est-à-dire : des objets variables, imprécis, abstraits, non détaillés, etc. Cela implique des risques d'itération et de rallongement des délais de réalisation du processus importants. Il est donc nécessaire de fournir des moyens de mesurer ces risques.

ModèleCasApplication

Une instance du critère de maturité entrée (input) d'un objet intermédiaire de type paramètre de conception, est représentée dans le tableau 1 ci-dessous. Le tableau 2 représente une instance du critère de maturité en sortie (output) d'un paramètre de conception, alors que le tableau 3 est une instance du critère de maturité intrinsèque d'une nomenclature.

ValeurMaturitéInputParamètre1::Valeur Maturité Input

Nom de la valeur : Sensible

Niveau de la valeur : 2 (sur 3)

Représentation de la valeur :

Temps nécessaire pour l'intégration de la modification Dans l'activité	Valeur minimum de variation de l'objet	valeur maximum de variation de l'objet
2 jours 5 jours 14 jours . .	2 cm 9 cm 16 cm . .	8 cm 15 cm 20 cm . .

Tableau 1 : Instance du critère de maturité en entrée (input) associé à un paramètre de conception.

ValeurMaturitéOutputParamère1::Valeur Maturité Output

Nom de la valeur :instable

Niveau de la valeur : 2 (sur 3)

Représentation de la valeur :

Valeur minimum	Valeur maximum	Taux de variabilité	date
0 1 2 2	5 4 3 2 .	0 0,4 (= 1- (4-1)/(5-0)) 0,8 (= 1- (3-2)/5-0)) 1	Jour 1 Jour 2 Jour 3 Jour 4

Tableau 2 : Instance du critère de maturité en sortie (output) associé à un paramètre de conception.

ValeurMaturitéIntrinsèqueNomenclature1::Valeur Maturité Intrinsèque	
Nom de la valeur : abstrait	
Niveau de la valeur : 1 (sur 3)	
Représentation de la valeur :	
(1) variantes possibles pouvant composer l'objet	(2) variantes de l'objet considérées actuellement
Nom=Centrale hydraulique Type=Kaplan, bulbe, Francis Puissance=[21 Kwh, 24 KWh] Rendement=[0.85, 0.95] Génératrice=synchrone, asynchrone. Transformateur=[1000 volts, 5000 volts] Nombre de turbine= {1, 2, 3 ou 4} Dimensions de la centrale: Largeur=[100 m, 150 m] Longueur=[150 m, 200 m] Hauteur=[100m, 250 m]... .	Nom = centrale hydraulique-Type K Type=Kaplan Puissance=24 Kwh Rendement= 0.85 Génératrice=synchrone ou asynchrone Transformateur=[1000 volts, 5000 volts] Nombre de turbine= {1, 2} Dimensions de la centrale: Largeur=[100 m, 150 m] Longueur=[150 m, 200 m] Hauteur=[100m, 250 m]... .

Tableau 3 : Instance du critère de maturité intrinsèque associé à une nomenclature.

Requiert
{Identifier points de variabilité}

La démarche de spécification du SGII proposée est basée sur l'utilisation successive des patrons d'analyse et cela en commençant par le patron "Spécifier SGII". Ce patron a pour objectif de guider l'utilisation du catalogue de patrons et constitue ainsi le point d'entrée de ce catalogue. Il établit l'ordre dans lequel les patrons doivent être appliqués et ce notamment grâce aux liens du type "requiert".

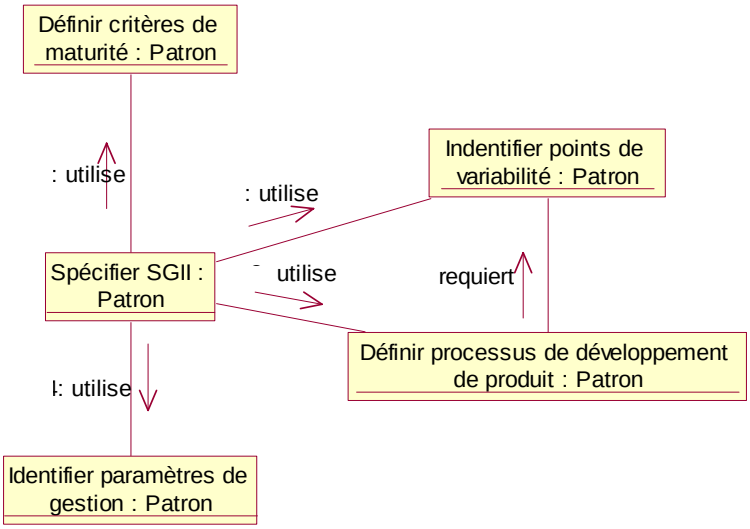


Figure 119 Liens entre les principaux patrons du catalogue

Ensuite, l'ordre d'utilisation des patrons à l'intérieur de chacun des cinq patrons principaux ci-dessus est défini également par des liens entre les patrons du type « utilise » et « requiert » mis en évidence dans les sections précédentes et que nous récapitulons dans les figures 120 et 121 ci-dessous.

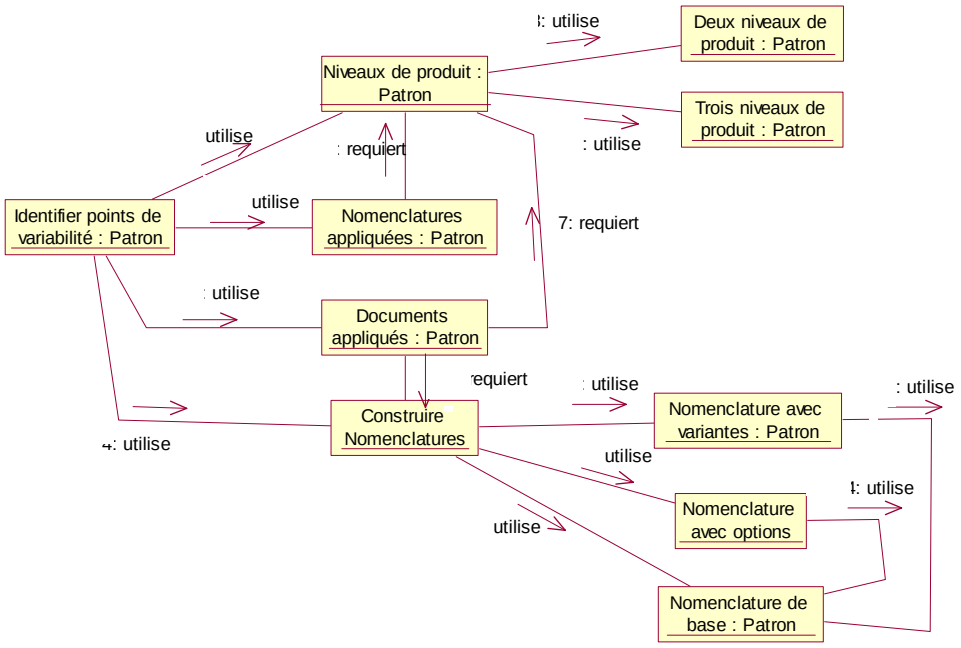


Figure 120 Liens entre patrons définissant le modèle de produit

Les patrons de définition du modèle de produit représentent une réutilisation des patrons développés dans [Gzara 00]. Notons toutefois, que le patron « Identifier points de variabilité » a été enrichi, dans notre système par la définition des paramètres de conception.

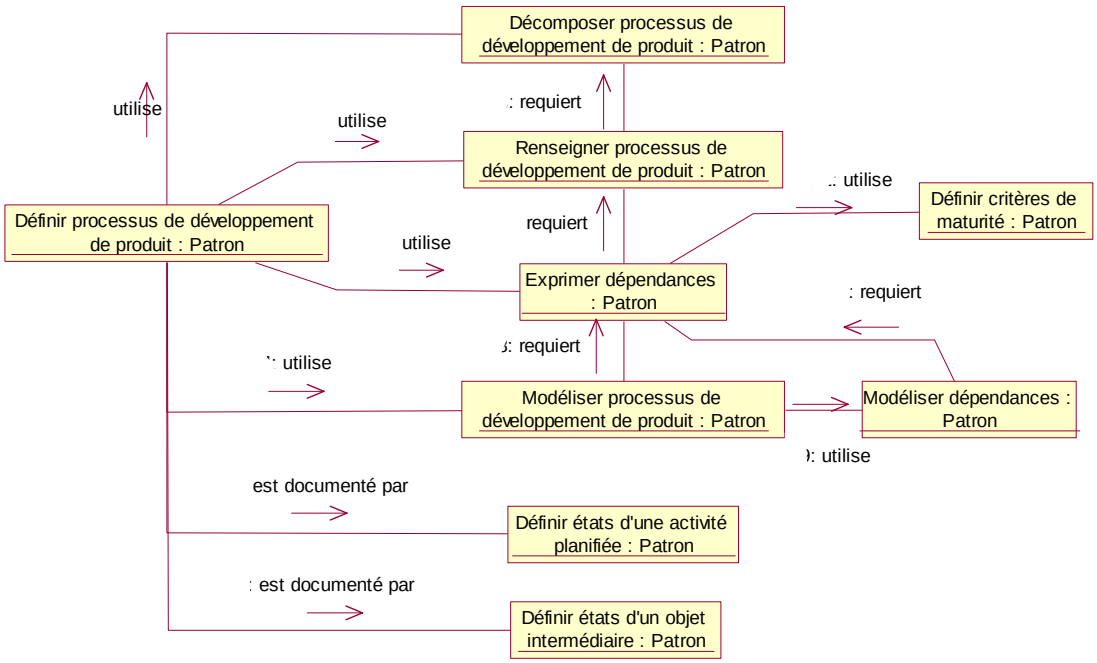


Figure 121 Liens entre patrons définissant le modèle de processus et les informations

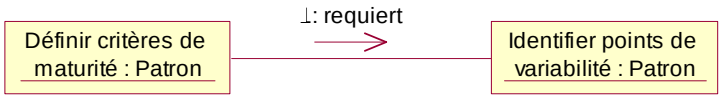


Figure 122 Lien entre patrons définissant le modèle de maturité

9.3. Conclusion

Ce chapitre illustre l'organisation des connaissances identifiées lors de l'analyse du modèle de processus et du modèle de produit. Cette organisation est formalisée à l'aide de l'outil AGAP. Il s'agit de patrons d'analyse parmi lesquels on trouve des patrons à la fois processus et produit (« Définir un processus de développement de produit »), des patrons purement produit (« Identifier points de variabilité ») ou des patrons de documentation (« Définir états d'un objet intermédiaire »).

La liste des patrons proposée n'est pas exhaustive. Les patrons proposés ne sont présentés dans ce chapitre. Ensuite, comme pour la majorité des langages de patrons proposés dans la littérature, il est difficile d'être exhaustif dans le traitement des problèmes. Des patrons supplémentaires peuvent être définis pour raffiner les problèmes traités dans notre catalogue ou pour traiter d'autres problèmes récurrents.

Ces connaissances permettent à une organisation de renseigner l'outil PIQUANT. Cela permet à des experts et des concepteurs d'adapter l'application PIQUANT à leur organisation. Les démarches de conception d'un tel outil ne sont pas proposées dans cette thèse mais pourront faire l'objet d'autres travaux de recherche.

La démarche préconisée dans ce chapitre met aussi en avant des informations ou des connaissances essentielles pour le bon fonctionnement d'un système de gestion des informations immature dans un contexte de conception collaborative. Un certain nombre d'hypothèses est considéré dans cette démarche, telle que la supposition qu'une définition a *priori* du processus de développement de produit soit possible dans tous les contextes de conception. Or on sait que pour une conception innovante, il est difficile de prévoir, par exemple, les activités de conception, les valeurs des critères de maturité, les informations échangées, etc. Néanmoins, nous pensons qu'une telle démarche permettrait aux experts, dans une entreprise, d'identifier les connaissances relatives au bon fonctionnement du processus et de les acquérir au fur et à mesure des expériences passées.

Conclusion Générale

Le travail de recherche présenté dans cette thèse concerne des caractéristiques clés de l'activité de conception, à savoir la collaboration. Nous nous sommes intéressés au contexte de conception complexe faisant intervenir une multitude d'acteurs, de métiers et de points de vue différents. La collaboration dans ce cas devient problématique.

A travers cette thèse, nous avons effectué un état des lieux des différentes démarches d'analyse et de gestion de la collaboration. Cette analyse se voulait multidisciplinaire, incluant des points de vue de plusieurs domaines : gestion, sciences sociales, conception de produit, etc. La confrontation de ces différents points de vue nous a permis de caractériser l'activité de conception collaborative. L'un des points essentiels est le rôle des objets intermédiaires et de leur maturité dans la spécification des modes de collaboration (coordination et coopération) et dans l'amélioration de la fiabilité des échanges entre les acteurs.

De nombreux travaux concernent la qualification des informations mais très peu :

- proposent une définition consolidée de la maturité comme nous avons essayé de le faire à travers les critères de maturité d'entrée, de sortie et intrinsèques,
- abordent la qualification de la maturité comme un moyen d'amélioration de la collaboration.

Les contributions de cette thèse peuvent être résumées en deux points :

1. Une première contribution de ce travail est la modélisation du cadre de la collaboration. Cette modélisation intègre les différents modes de collaboration, les différents modes d'organisation du processus de conception (prescriptif et émergent), les objets intermédiaires et leur maturité. La modélisation de la maturité permet :

    a- la gestion de la coordination dans les espaces projet. Le point fort de cette modélisation est de permettre une gestion de la coordination adaptée aux pratiques des acteurs. Par exemple, par la définition des maturités cibles et attendues, il est possible d'identifier, pendant le processus, des objets

intermédiaires critiques qui présenteraient des incohérences entre les valeurs de maturité.

b- l'évaluation des liens de dépendance entre les activités, dans les espaces projets, en fonction de la maturité du flux d'information.

c- l'optimisation de la planification des activités dans les espaces projet. Cette optimisation est réalisée par une diffusion optimisée des objets intermédiaires.

d- la facilitation de la coopération dans les espaces de proximité. L'expression des maturités de pièce à conviction permet de considérer non seulement les modalités d'action appliquées sur les objets intermédiaires mais aussi l'évaluation de l'impact des solutions de conception sur le processus de conception (à travers les critères de maturité d'entrée).

A travers la modélisation de la maturité dans les espaces projets et proximités, nous avons proposé un cadre unifié de gestion de la collaboration qui intègre à la fois les besoins de gestion du processus mais aussi les besoins locaux (besoins des acteurs) de réalisation de l'activité de conception dans les équipes de conception.

2. Une deuxième contribution de cette thèse concerne le développement d'un système de gestion de la collaboration basé sur la gestion des informations immatures (PIQUANT). Le prototype sert à valider et à expérimenter les apports conceptuels cités ci-dessus. L'application du système PIQUANT nous a permis de mettre en lumière certaines fonctionnalités manquantes aux systèmes de gestion actuels (TCAO et SGDT). Le développement de l'outil PIQUANT a été complété par une démarche d'analyse à base de patrons. Cette approche est issue des observations effectuées sur le terrain mais aussi des analyses faites de la littérature. Cette démarche représente un premier pas vers la capitalisation des pratiques collaborative au sein d'une organisation et de leur usage dans un outil collaboratif tel que PIQUANT.

Nos travaux de thèse représentent un objet intermédiaire qui, nous espérons, sera un support pour des actions ultérieures de recherche. Dans la suite de cette conclusion, nous nous attachons à identifier quelques perspectives regroupées selon deux axes (validation et extension du travail). Nous pensons ces pistes viables pour de futures recherches.

1. **Validation** : Le premier axe de recherche est la validation des résultats dont nous disposons dans le contexte industriel de cette thèse (CIH). La validation pourrait être réalisée par une mise en usage du système PIQUANT et de la démarche de capitalisation dans le contexte industriel « CIH ». Une extension vers d'autres contextes de conception de produit s'avère pertinente. La validation portera sur les points importants :

   a. **Hypothèses du travail** : il s'agit de vérifier si les acteurs de la conception peuvent partager des représentations conventionnelles de la maturité et arrivent à identifier, a priori, des objets intermédiaires critiques et à anticiper les valeurs de maturités objectives associées (valeurs de maturité trace habilitée et de maturité livrable).

   b. **Amélioration du processus de conception** : Vérifier la performance du processus de conception d'un point de vue durée et coûts. Par coûts, nous entendons les efforts de conception générés par la collaboration. L'intérêt est de savoir si l'application du modèle basé sur la qualification des informations, fera gagner à l'entreprise du temps et des efforts.

Nous signalons que le système PIQUANT, au-delà de la validation des résultats sur les terrains industriels, pourrait servir de système d'aide à la spécification et à l'identification des besoins des processus de conception collaborative. Il pourrait aussi évoluer vers un outil de traçabilité et d'analyse des pratiques dans un contexte de conception de produit.

2. **Extension du travail :** En ce qui concerne le deuxième axe de recherche, nous avons besoin d'enrichir le modèle de collaboration proposé par les points suivants :

   a. **Application du modèle de collaboration proposé dans le cadre d'entreprise étendue :** Il s'agit de vérifier si les propositions avancées dans cette thèse, restent applicables dans le cadre d'une équipe projet organisée sur plusieurs sites et plusieurs entreprises.

   b. **Développement de mécanismes de gestion** : Il s'agit d'enrichir le prototype PIQUANT des systèmes suivants :

   - Un système d'optimisation de la planification des activités dans l'espace projet. Une planification qui se voudra dynamique et en fonction de la maturité des objets intermédiaires échangés.

- Un système de type workflow dynamique, pour la diffusion (semi automatique) des objets intermédiaires d'un espace à un autre.
- Un système de type conscience de groupe qui permettrait de maintenir les acteurs conscients des informations sur le processus, sur les acteurs, sur les problèmes de conception, etc.

Bibliographie

[Alexander 1977] **Alexander C**., **Ishikawa S. et al.** *A Pattern Language*. Oxford University Press, New York, NY, 1977.

[Antonsson et al 1995] **Antonsson EK, Otto KN.** *Imprecision in engineering design,* Trans ASME, vol. 3, p.117-125, 1995.

[Balmisse 04] **Balmisse G.** *Les nouveaux outils et technologies du travail collaboratif : produire, communiquer, coordonner facilement.* RDC/GB/SL pour le KM Forum, septembre 2004.

[Bareigts 00] **Bareigts, C**. *Importance de la coordination/coopération en terme d'apprentissage organisationnel.* Actes du colloque Agent logiciels, coopération, apprentissage & activité humaine, ATIEF, Biarritz, France, 6-7 octobre 2000.

[Beck et al. 00] **Beck S. E.** *The Good, the Bad & the Ugly. Teaching Students to Evaluate Internet Resources.* Ed. Trudi Jacobson. Pittsburg: Library Instruction Publications, pp. 159-174, 2000

[Benali 2002] **Benali, K., Bourguin, G., David, B., Derycke, A., Ferraris, C**. *Collaboration/Coopération.* In Le Maitre, J. (Ed.), Actes des 2e Assises Nationales du GdR I3 : Information – Interaction – Intelligence, Nancy, France, Cépadues Éditions, pp.79-94, décembre 2002.

[Bhuiyan 2001] **Bhuiyan N. F**. *Dynamic models of concurrent engineering processes and performance.* Phd dissertation Department of Mechanical Engineering McGill University, september 2001.

[Bhuiyan et al. 04] **Bhuiyan N., Gerwin D., Thomson V.** *Simulation of the New Product Development Process for Performance Improvement.* In the Informs, Management Science, Vol. 50, No. 12, December, pp. 1690–1703, 2004.

[Blanco 1998] **Blanco E.** *L'émergence du produit dans la conception distribuée, vers de nouveaux modes de rationalisation dans la conception de systèmes mécaniques.* Mémoire de thèse de l'INPG, 1998.

[Blanco 2003] **Blanco, E. Rough Drafts**. *Revealing and mediating design.* In Everyday engineering. An ethnography of design and innovation, D. Vinck, ed., MIT press, Cambridge MA, 120-157, 2003.

[Blanco et al. 01] **Blanco, E., Gardoni, M.** *Supporting Non-Structured Graphical Information in Integrated Design Team*. Proceedings ICED01,

International Conference on Engineering Design, Glasgow, 2001.

[Blanco et al.06] **Blanco E., Calvi R., Le Dain M.A, Mille A., Pourroy F., Rieu D.** *I S O C E L E : Ingénierie des Systèmes d'information Ouverts pour la Conception Collaborative dans l'Entreprise virtuelLE.* Rapport région Rhône-Alpes final, 2006.

[Blessing 1994] **Blessing, L.T.M.** *A process-based approach to computer-supported engineering design.* Dissertation University of Twente, Cambridge, 1994.

[Blessing 1996] **Blessing L.T.M**. *Comparison of Design Models Proposed in Prescribtive Literature.* In: The role of design in the shaping of technology, COST A3/ COST A4 International research workshop, Lyon February 1995, Perrin J. and Vinck, D. (eds), Social Sciences Series Vol.5, European Committee, pp 187-212, 1996.

[Blessing et al. 02a] **Blessing L., Chakrabarti A**. *DRM: A Design Research Methodology.* International Conference of the Sciences of Design, Lyon (France), Mars 15-16, 2002

[Bobroff 1993] **Bobroff J.** (dir.). *La gestion de projet dans la construction.* Presse de l'école des Ponts et chaussées, 1993.

[Booch et al. 1999] **Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I.** *The unified modelling language user guide.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1999.

[Booz et al. 1998] **Booz, Allen, Hamilton.** *New product management for the1980s.* New York, 1982.

[Bornarel 05] **Bornarel F**. *Relations de confiance et renforcement du contrôle Résultats d'une étude conduite dans un cabinet de conseil.* 14ième Conférence Internationale de Management Statégique, Pays de la Loire, Angers 1995.

[Boujut & Tiger 02] **Boujut J.F, Tiger H**. *A socio-technical research method for analysing and instrumenting the desing activity.* Journal of Design Research, Vol. 2, No. 2, 2002, disponible sur l'adresse : http://jdr.tudelft.nl/articles/issue2002.02/article5.html (visité le 23 février 2005).

[Boujut 01] **Boujut J.P.** *Outils aux interfaces : pour le développement de processus de conception cooperative*, HDR, INPGrenoble, 2001.

[Boujut et al. 02] **Boujut J.F., Laureillard P.** *A co-operation framework for product-process integration in engineering design.* Design Studies, vol. 33, n° 5, p. 497-513, 2002.

[Bouthier 04] **Bouthier, C.** *Mise en contexte de la conscience de groupe : adaptation et visualisation*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France, 2004.

[Bracewell et al 04] **Bracewell R.H., AHMED S., Wallace, K.M**. *DRed and design folders: a way of capturing, storing and passing on - knowledge generated during design projects* in Design Automation Conference, ASME, Salt Lake City, Utah, USA, 2004.

[Brissaud et al 03] **Brissaud, D. Choulier, D. Garro, O. Prudhomme, G**. *An applied methodology framework for engineering design*

research. Document Interne Laboratoire 3S et Laboratoire M3M, 2003.

[Brown et al. 1995] **Brown, S. L., Eisenhardt, K. M**. *Product Development: Past Research, Present Findings, and Future Directions.* Academy of Management Review (20), 1995, pp. 343-379.

[Browning 1998] **Browning T. R.,** *Modelling and analysing cost, schedule, and performance in complex system product development.* Ph.D. Thesis, M.I.T., Cambridge, MA, 1998.

[Browning et al. 2002] **Browning, T. and Eppinger, S.** *Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development.* IEEE Transactions on Engineering Management, v 49, N°.4, 2002.

[Bucciarelli 1988] **Bucciarelli, L.L.** *An ethnographic perspective on engineering design.* Design Studies, Vol. 9, No. 3, pp 159-168, 1988.

[Burton et Obel 1995] **Burton, R. M., B. Obel.** *The validity of computational models in organization science: From model realism to purpose of the model.* Comput. Math. Organ. Theory 1(1) 57–71, 1995.

[Callon & al. 00] **Callon, M. Meadel, C. Rabeharisoa, Beharisoa,V. A.** *L'économie des qualités.* Politix, volume 13-n°52, pages 211 à 239, 2000.

[Carley 1996] **Carley, K.** *Validating computational models.* The Heinz School, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1996.

[Cater 1994] **Carter, B., Hancock, T., Morin, J-M. Robins, M**. *Introducing Risk Man Methodology: The European Project Risk Management Methodology.* Oxford, UK: NCC Blackwell Ltd, 1994.

[Chamberlin 1953] **Camberlin E.H.** *La théorie de la concurrence monopolistique. Une nouvelle orientation de la théorie de la valeur,* Puf, Paris, 1953.

[Chen et Tsao 1998] **Chen Y-M. Tsao T-H.** *A structured methodology for implementing engineering data management.* Robotics and Computer Integrated Manufacturing, No. 14, p. 275-296.

[Clark et Fujimoto 1991] **Clark Kim B., Fujimoto Takahiro.** *Product Development Performance. Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry,* Harvard Business School, Boston, Mass, 1991.

[Clarkson et al. 05] **Clarkson, P.J., Eckert C.M.** *Design Process Improvement. A review of Current Practice,* Spinger, 2005.

[Clausing 1994] **Clausing D.,** *Total quality development: strategy, organization and management in the world auto industry,* Boston, Harvard Business School Press, 1991.

[Cooper 1993] **Cooper R.G.** *Winning at new products: Accelerating the process from idea to launch.* Perseus Books, Cambridge, USA, 1993.

[Cooper et al. 1993] **Cooper, R. G., Kleinschmidt E. J.** *Stage gate systems: A game plan for new product success.* Marketing Management, Vol 1, N°.4, pp.20–29, 1993.

[Coughlan & Coghlan 02] **Coughlan, P., Coghlan, D**. *Action research for operations management.* International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22, No. 2, pp 220-240, 2002.

[Crossland 03] **Crossland R., Williams J.H.S., McMahon C.A**. *An object-oriented modelling framework for representing uncertainty in early variant design,* Research in Engineering Design, 2003, vol. 183, p. 14-17.

[Culley et al. 05] **Culley S.J., Davies S., Hicks B. J., McMahon C.A**. *An assessment of Quality Measures for Engineering Information Sources.* In proceedings of ICED05, International Conference on Engineering Design, Melbourne, 2005.

[D'astous 04] **D'Astous, P., Détienne, F., Robillard, P.N.** *Changing our view on design evaluation meetings methodology: a study of software technical review meetings.* Design Studies, Vol. 25, No. 6, 2004, pp 625-655.

[Darses 1997] **Darses, F.** *L'ingénierie concourrante : un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs en conception.* in Ingénierie Concourante : de la technique au social, Brossard, P., Chanchevrier, C., Leclair, P. (Eds), Economica, Paris, France, pp 39-55, 1997.

[Darses et al. 01] **Darses, F., Détienne, F., Falzon, P. Visser, W.** *A method for analysing collective design processes.* Rapport de recherche No. 4258, INRIA, France.

[Darud 06] **Darud B.** *Systèmes d'information dédiées a la gestion des informations préliminaires en conception de produit,* Mémoire de licence professionnelle, IUT2-Grenoble, Septembre 2006.

[David 2001] **David, B.** *IHM pour les collecticiels.* Réseaux et Systèmes Réparties (RSR-CP), vol. 13, Hermes Science, pp. 169-206, 2001.

[De Terssac et al. 1996] **De Terssac G., Maggi B.** *Autonomie et conception.* in G. De Terssac et E. Freidberg (dir.), Coopération et conception, Octarès, Toulouse, p.243-266, 1996.

[Deneux 02] **Deneux D.** *Méthodes et modèles pour la conception concourante.* Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 2002.

[Dodier 1993] **Dodier N.** *Les appuis conventionnels de l'action. Eléments de pragmatique sociologiques,* Réseaux, CENT, Grenoble, juillet 2000.

[Dourish & Belloti 1992] **Dourish, P., Belloti, V.** *Awareness and coordination in shared work spaces.* Proceedings of ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work, Toronto, Canada, pp 107-114, 1992.

[Duffy & O'Donnell 1998] **Duffy, A.H.B., O'Donnell, F.J.** *A Design Research Approach. Workshop on Research Methods* in AI in Design, Lisbonne, Portugal, 1998.

[Duong 00] **Duong P.Q.** *Spécification d'une démarche de développement à base de patterns.* Mémoire de fin d'études de l'Institut de la

Francophonie pour l'Informatique, Vietnam- Laboratoire LSR/INPG, France. Septembre 2000.

[Eger et al. 05] **Eger T., Eckert C. et Clarkson P. J**. *The role of design freeze in product development.* In proceedings ICED 05, International Conference on Engineering Design, Melbourne, August 15-18, 2005.

[Engeström et al. 93] **Engeström Y.** *Developmental studies of work as a testbench for activity theory: the case of primary care medical practice.* In S. Chaiklin J. and Lave (eds) Understanding practice Perspectives on activity and context. Cambridge: Cambridge University Press pp. 64-103.

[Eppinger et al. 1997] **Eppinger S.D., Krishnan V., Whitney D.E.** *A model-based framework to overlap product development activities,* Management Science, vol. 43, n° 4, 1997.

[Espinosa 00] **Espinosa, A., Cadiz, J., Rico-Gutierrez, L., Kraut, R., Scherlis, W., Lautenbacher, G.** *Coming to the wrong decision quickly: why awareness tools must be matched with appropriate tasks,* Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000), The Hague, The Netherlands, ACM Press, pp.392-399, avril 2000.

[Eversheim et al 1997] **Eversheim W., Roggatz A., Zimmermann HJ., Derichs T.** *Information management for concurrent engineering,* European Journal of Operational Research, vol. 100, p. 253-265, 1997.

[Finger 95] **Finger S.B., Konda S.L. Subrahmanian** E. *Concurrent Design Happens at the interfaces.* Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing, vol. 9, p. 89-99, 1995.

[Fowler 1997] **Fowler M.** *Analysis Patterns - reusable Object Models*. Addison-Wesley, Reading MA, 1997.

[Front 1997] **Front A.** *Développement de systèmes d'information à l'aide de patrons – Applications aux bases de données actives,* Thèse de Doctorat, spécialité Informatique, UJF -Grenoble 1, France, décembre 1997.

[Gamma 1995] **Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J**. *Design Patterns, Elements of reusable Object-Oriented Software,* Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

[Gardoni et al. 2005] **Gardoni M., Blanco E., Rueger S.** *MICA-Graph: a tool for managing text and sketches during design processes.* Journal of Intelligent Manufacturing, 16, 397-407, 2005.

[Gaudin 01] **Gaudin J.** *Description et modélisation des flux d'informations au sein d'une équipe de conception intégrée, en vue de définir un outil d'aide au concepteur.* DEA de Génie Industriel. INP Grenoble, 2001.

[Gerbner 1956] **Gerbner, G.** *Toward a General Model of Communication*. Audio-Visual Communication Review, 4:171-199, 1956.

[Geo. 1999] **Gerogakopoulos.** *Collaboration process management for advanced application.* In international process technology workshop, 1999.

[Gero 1990] **Gero, J.S.** *Design prototypes: a knowledge representation schema for design.* AI Magazine, Vol.11, N°.4, pp.26-48.

[Godart et al.1999] **Godart C., Perrin O., Skaf H.** C*oo: a workflow Operator to Improve Cooperation Modelling in Virtual Processes.* presented at 9th Int. Workshop on research issue on data engineering information technology for virtual enterprises (RIDEVE'99), 1999.

[Goh et al. 05] **Goh Y.M., Booker J.D., McMahon C.A.** *A framework for the handling of uncertainty in engineering knowledge management to aid product development.* Proceedings ICED05, International Conference on Engineering Design, Melbourne, Août 15-18 juillet, 2005.

[Gomes et al. 05] **Gomes, P.J., & Joglekar, N.R.** *Linking modularity with problem solving and coordination effortsduring distributed product development.* Faculdade de Economia, Universidade Nova de Lisboa et Boston University School of Management de Boston, Working Paper, septembre 2005.

[Gomes et al. 06] **Gomes, P.J., & Joglekar, N.R.** *The costs of coordinating distributed software development tasks.* Faculdade de Economia, Universidade Nova de Lisboa et Boston University School of Management de Boston, Working Paper, 2006.

[Grebici 03] **Grebici K.** *Analyse du flux d'information dans la conception d'ouvrages hydrauliques.* Rapport de DEA, INPG, 2003

[Grebici 04a] **Grebici K. Blanco E.** *Description du processus contractualiser.* Rapport d'études CIH-EDF, 2004.

[Grebici et al. 06a] **Grebici k., Ouertani M. Z., Blanco E., Gzara-Yesilbas L. Rieu D.** *Conflict management in design process: focus on change inpact.* CE06, International Conference on Concurrent Engineering, septembre, 2006.

[Grebici et al. 06b] **Grebici K., Blanco E., Rieu D.** *Vers une meilleure collaboration des acteurs de conception de produit.* Revue Ingéniérie des Systèmes d'Information, RSTI-ISI, N°11, 2006.

[Grigori et al. 2004] **Grigori D., Casati F., Castellanos M., Dayal U., Sayal M., Shan M.C.** *Business Process Intelligence.* Computers in Industry Journal, special issue on workflow mining, vol. 53, n° 3, p. 321-43, 2004.

[Gutwin et al. 02] **Gutwin, C., Greenberg, S.** *A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware.* Computer Supported Cooperative Work (CSCW), vol. 11, n° 3-4, septembre 2002, Kluwer Academic Publishers, pp. 411 – 446.

[Gzara 00] **Gzara L.** *Les Patterns pour l'Ingénierie des Systèmes d'Information Produit.* Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité génie industriel, 2000.

[Hamilton et al. 1997] **Hamilton J.R., Clarkson P.J., et al.** *The modelling of design knowledge for computer supported aerospace design.* Proceedings of ICED 97, International Conference on Engineering Design, Tampere, 1997.

[Hanssen 1997] **Hanssen, R.W**. *Reducing delivery times in engineer-to-order firms by using the concepts of concurrent engineering,* Proceedings of the 4th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE'97), The University of Nottingham, 8-10, October, pp. 495- 508, 1997

[Hatchuel 1994] **Hatchuel A.** *Apprentissages collectifs et activités de conception.* In la revue française de gestion, juin-juillet-aout 1994.

[Helms 02] **Helms RW.** *Product data management as enabler for concurrent engineering,* PhD dissertation Eindhoven University of Technology, BETA Research institute, 2002.

[Henderson 1999] **Henderson, K.** *On line and on paper,* MIT Press, Cambridge MA, 1999.

[Hoedemaker et al. 1999] **Hoedemaker, G., J. Blackburn, L. Van Wassenhove.** *Limits to concurrency.* Decision Sci. 30(1) 1–18, 1999.

[Hohmann 02] **Hohmann, B.** *Etude empirique: Analyse d'une situation de conception coopérative médiatisée.* Rapport de DEA d'Ergonomie du Centre National d'Arts et Métiers, Paris, 2002.

[Hubka 1984] **Hubka, V. and Eder, W. E**. *Theory of Technical Systems.* Heideleberg : Springer-Verlag Berlin, V°.6, 1984.

[Jarret 2002] **Jarret J.P., Clarkson, et al.** *Accelerating turbomachine design.* ASME international Gas Turbine Institute TURBO EXPO, Amsterdam, Netherlands, 2002.

[Jeantet 1998] **Jeantet A.** *Les objets intermédiaires dans la conception, Eléments pour une sociologie des processus de conception.* In Sociologie du travail, vol. 3, p. 291-316, 1998.

[Jeantet et al. 1996] **Jeantet A., Tiger H., Vinck D., Tichkiewitch S.** *La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit,* pp.87-100. In Coopération et conception, de G. Deterssac et E. Friedberg, Toulouse, Ed, Octares, 1996.

[Jin et Wang, 00] **Jin, Y., and Wang, K.** *Modelling and managing dependencies in engineering design,* in CIRP Annals, Vol.49, N°.2, 2000.

[Joglekar et al.01] **Joglekar N.R., Yassine A. A., Eppinger S. D., Whitney D. E.** *Performance of Coupled Product Development Activities with a Deadline. Management Science,* INFORMS, Vol. 47, No. 12, pp. 1605–1620, 2001.

[Karpik 1996] **Karpik L.** *Dispositifs de confiance et engagements crédibles.* Sociologie du travail, N°4, pp.527—550, 1996.

[Keeney et al. 1992] **Keeney R.** *Value Focused Thinking.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992.

[Kehat et al. 1973] **Kehat, E. Shacham, M.** *Chemical process simulation programs* 2. Process Technology International, V. 18, pp.115-118, 1973.

[Krishnan et al 1997] **Krishnan V.** *Managing the simultaneous execution of coupled phases in concurrent product development.* IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 43, n° 2, p. 210-217, 1996.

[Kusiak et Wang 1995] **Kusiak, A., Wang, J**. *Dependency Analysis in Constraint Negotiation.* IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 25, No. 9, 1301-1313, 1995.

[Larousse 06] **Le Larousse**. *Larousse Nouveau dictionnaire de Français,* Edition Larousse, 2006.

[Laureillard 00] **Laureillard P.** *Conception intégrée dans l'usage.* Thèse de doctorat INPG, 2000.

[Laureillard 03] **Laureillard P.** *The Role of Graphical Representations. In Inter-Professional Cooperation,* Vinck D., editors, Everyday engineering: An ethnography of design and innovation, MIT Press, p. 178-202, 2003.

[Lawler 1976] **Lawler, E.** *Combinatorial Optimization: Networks and Matroids.* New York: Holt, Rinehart &Winston, 1976.

[Lécaille 03] **Lécaille P.** *La Trace Habilitée, une Ethnographie des Espaces de Conception dans un Bureau d'Etudes Mécanique: l'échange et l'équipement des Objets Grapho-numériques entre Outils et Acteurs de la conception.* Thèse de doctorat INPGrenoble, novembre 2003.

[Loch et Terwiesch 1998] **Loch, C., Terwiesch, C.**. *Communication and uncertainty in concurrent engineering.* Management Sci. V.44, N°.8, pp. 1032–1048, 1998.

[Lonchampt 04] **Lonchampt P.** *Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : Modèle et support de l'activité de conception*, Thèse de l'INPG de Grenoble, juin 2004.

[Lopes 05] **Lopes J.** *Piquant : réalisation d'une application Web gérant des processus de conception de produits.* Mémoire de licence professionnelle, IUT2-Grenoble, septembre 2005.

[Mayer et al. 1995] **Mayer R., Davis J., Schoorman D**. *An integrative model of organizational trust. Academy* of Management Review, Vol.20, N°3, pp. 709-734, 1995.

[McGrath et al. 1992] **McGrath M.E., Anthony M.T., Shapiro A.R.** *Product Development: Success through Product and Cycle-Time Excellence.* Butterworth-Heinemann Publishers, Boston, MA, 1992.

[McLachlan et al. 02] **McLachlan K.** *WWW Cyberguide Ratings for Content Evaluation*, www.cyberbee.com, 2002

[McMahon et al. 1995] **McMahon, C. A., Xianyi, M., Brown, K. N. Sims Williams, J. H.** *A Parallel Multi-Attribute Transformation Model of Design.* Proceedings of the 7th ASME International Conference on Design and Methodology, Ed. A.C.Ward, Boston, pp 341-350, Sept 1995.

[Mer 1998] **Mer, S.** *Les mondes de conception pour une approche socio technique de la conception de produit.* Thèse de doctorat INPG, 1998.

[Merkhofer 1987] **Merkhofer M.** *Quantifying judgmental uncertainty: methodology, experiences, and insights.* IEEE Trans. Sys., Man, and Cybern., SMC-17, 74—752, 1987.

[Midler 1993] **Middler C**. *L'auto qui n'existe pas : management des projets et transformation de l'entreprise.* Inter Edition, Paris, vol. 2, no1, 1993.

[Minneman 1991] **Minneman, S.** *The social construction of a technical reality: Empirical studies of group engineering design practice.* Thèse de doctorat de l'Université de Stanford, USA, 1991.

[Mintzberg 1982] **Mintzberg H.** *Structure et dynamique dans les organisations.* Editions d'Organisation, Pris, 1982.

[Mitretek 1999] *Mitretek Systems Information Quality Tool: Questions and Methodology*, 1999.

[Moisdon 1992] **Moisdon J.C., Weil B.,** *L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales ?* Annales des mines, septembre, pp.30-58, 1992.

[O'Donovan et al. 2003] **O'Donovan B.D., Clarkson P.J., Eckert C.M.** *Signposting: modelling uncertainty in design processes.* In Proceedings of ICED 2003, International Conference on Engineering Design, Stockholm. 2003.

[Obank et al. 1995] **Obank A., Leaney P., Roberts S.** *Data management within a manufacturing organization.* Integrated Manufacturing Systems, vol.6, no. 3, 1995.

[Ouertani et al. 06] **Ouertani M.Z.L., Gzara-Yesilbas L., Lombard M., Ris G.** *Managing Data Dependencies to Support Conflict Management.* 16th CIRP International Design Seminar, Design & Innovation for Sustainable Society, July 16-19, Alberta, Canada, 2006

[Pahl et Beitz, 1996] **Pahl, G., Beitz, W.** *Engineering Design: a systematic approach.* Springer-Verlag London LTD, London, 1996.

[Peltonen et al. 1996] **Peltonen H., Pitkänen Sulonen R.** *Process-based view on product data management.* Computers in Industry, Vol. 31, No. 3, p.195-204, 1996.

[Perrin et al. 1999] **Perrin J.** *Pilotage et évaluation des processus de conception.* ECOSIP, Editions l'Harmattan, 1999.

[Pimmler et al. 1994] **Pimmler, T. U. Eppinger, S. D**. *Integration Analysis of Product Decompositions.* Proceedings of the ASME Design Theory and Methodology Conference (DTM94), DE-Vol 68, pp. 343-351, 1994.

[Portland 00] About the Portland Form. http://c2.com/ppr/about/portland.html.

[Pouillon 1979] **Pouillon J.** *Remarques sur le verbe « croire ».* In Izard M. et Smith P. (éds.), La Fonction Symbolique, Paris, Gillimard, pp.43—51, 1979.

[Purcell et Gero 1998] **Purcell, A. T., Gero, J. S**. *Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology.* Design Studies, 19(4), 389.

[Randoing, 1995] **Randoing J-M.** *Les SGDT*, Ed. Hermès, Paris, 1995.

[Regli et al. 00] **Regli W. C., Hu X., Atwood M. Sun W.** *A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval* Engineering with Computers: An Int'l Journal for Simulation-Based Engineering, special issue on Computer Aided Engineering in Honor of Professor Steven J. Fenves, 16:209-235, 2000.

[Rieu 1999] **Rieu, D.** *Ingénierie des Systèmes d'Information,* Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1999.

[Rivière 04] **Rivière A.** *Gestion de configuration et des modifications lors du développement de grands produits complexes en ingénierie concourante- cas d'application aéronautique.* Thèse de doctorat INPG, 2004.

[Rogers 1989] **Rogers, J.** *A knowledge-based tool for multilevel decomposition of complex design problem.* NASA TP2903, Mai, 1989.

[Rolland 1998] **Rolland C.** *A comprehensive view of Process Engineering,* Proc. of the 10th International Conference CAISE 98, Pise, Italie, juin 1998.

[Rowe 1977] **Rowe W. D.** *An Anatomy of Risk.* New York: John Wiley & Sons, 1977.

[Ruiz-Dominguez 05] **Ruiz-Dominguez G. A.** *Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive.* Thèse de doctorat INPG, 2005.

[Safoutin 1998] **Safoutin M.J., Smith R.P.** *Classification of iteration in engineering design processes.* Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference, Atlanta, 1998.

[Saint-Marc et al. 2004] **Saint-Marc, Callot M., Reyterou C., Moly M., Girard P., Deschamps J.C.** *Toward a data maturity evaluation in collaborative design processes.* Design Conference, 2004.

[Salber 1995] **Salber D., Coutaz J., Decouchant D. et Riveill M.** *De l'observabilité et de l'honnêteté : le cas du contrôle d'accès dans Fla Communication Homme-Homme Médiatisée.* IHM'95, Conférence sur l'Ingénierie des Interfaces Homme-Machine, Toulouse, France, 1995.

[Sardas 00] **Sardas, JC., Erschler, J., de Terssac, G**. *Coopération et organisation de l'action collective.* 2èmes Journées Prosper Gestion de connaissances, coopération, méthodologies de recherche interdisciplinaire, Toulouse, France, 2000.

[Schön 1983] **Schön D.A.** *The reflective Practitioner: How professionals think in action.* New York, NY: Basic Books, 1983.

[Schrader et al. 1993] **Schrader, S., Riggs W. M. Smith R. P.** *Choice over uncertainty and ambiguity in technical problem solving.* Journal of Engineering and Technology Management Vol. 10, 1-2, pp. 73-99 1993.

[Shannon et Weaver 1949] **Shannon, C. Weaver, W.** *The Mathematical Theory of Communication.* University of Illinois Press, Urbana, 1949.

[Shephard et al. 1994] **Shephard G. Kirkwood C.** *Managing the judgmental probability elicitation process: a case study of analyst/manager interaction.* IEEE trans. On Engineering Management, vol. 41, p. 414-425, 1994.

[Smith et Eppinger 1997] **Smith, R. Eppinger, S.** *Identifying controlling features of engineering design iteration.* Management Science, Vol. 43, pp.276—293, 1997.

[Sperber et Wilson 1986] **Sperber, D. Wilson, D.** *Relevance: Communication and Cognition,* Oxford; Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1986.

[Stacey et al. 00] **Stacey M.K., Clarkson P.J., Eckert C.M.** *Signposting: an AI approach to supporting human decision making in design* In 20th Computers and Information in Engineering Conference, Proceedings of the ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences. Baltimore, MD: American Society of Mechanical Engineers, 2000.

[Stacey et al.03] **Stacey M., Eckert C.** *Against ambiguity.* In Computer Supported Cooperative Work, vol. 12, 2003, p. 153-183.

[Star 1989] **Star S.L.** *The structure of III-Structured Solutions: Heterogeneous problem Solving, Boundary Objects and Distributed Artificial Intelligence.* In Huhns and Gasser (eds.): Distributed Artificial Intelligence. Mprgan Kaufmann, 1989.

[Steward 1981] **STEWARD, D.** *System Analysis and Management: Structure, Strategy and Design,* New York, Petrocelli Books, 1981.

[Steward 1991] Steward,D. *Planning and managing the design of systems.* Proceedings of Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, Portland, Oregon, USA, 27- 31 October, 1991

[Swink et al. 1996] **Swink M. L., Sandvig J. C., Mabert V. A**. *Customizing concurrent engineering processes: Five case studies.* Journal of Product Innovation Management 13(3) 229–244, 1996.

[Tarpin-Bernard 1997] **Tarpin-Bernard, F.** *Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : approche AMF-C,* Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France, 1997.

[Terwiesch 02]. **Terwiesch C.** *Exchange Preliminary Information in Concurrent Engineering: Alternative Coordination Strategies.* Organization Science, vol. 4, p. 402-419, 2002.

[Terwiesch et al. 1999] **Terwiesch, C., Loch C.H.** Measuring the effectiveness of overlapping development activities. Management Sci. 45(4), 455–465, 1999.

[Thurston et al. 1992] **Thurston, D. L. Carnahan, J. V**. *Fuzzy Ratings and Utility Analysis in Preliminary Design Evaluation of Multiple Attributes.* Transactions of the ASME: Journal of Mechanical Design, vol. 114, pp. 648-658, Dec. 1992.

[Tichkievitch et al. 1995] **Tichkiewitch, S., Chapa Kasusky, E., Belloy P.** *Un modèle produit multi-vues pour la conception intégrée »,* Congrès International de Génie Industriel, Montréal, La productivité dans un monde sans frontières, Vol. 3, pp. 1989-1998, 18-20 octobre 1995.

[Ullman 1992] **Ullman D.G.** *The mechanical design process.* Mc Graw Hill, 3ième édition, 2002.

[Ulrich et Eppinger 01] **Ulrich, Karl T.; Eppinger, Steven D.** *Product design and development.* McGraw-Hill/Irwin, 1999.

[Vinck 1999] **Vinck, D.** *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation.* Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble, France, 1999.

[Vinck 2003] **Vinck, D.** *L'instrumentation du travail interdisciplinaire: cadrage des échanges et médiation par les objets intermédiaires.* Esprit Critique 5, V.9, 2003.

[Vinck et al. 1995] **Vinck D, Jeantet A.** *Mediating and commissioning objects in the socio-technical process of product design: a conceptual approach.* In proceedings of management and new technologies, COSTA3 workshop Designs, Networks and Strategies, European Community, 1995.

[Waldron et Waldron 1996] **Waldron, M.B. Waldron, K.J.** *Methods of studying mechanical design.* Mechanical design, theory and methodology, Waldron, M.B., Waldron, K.J. (Eds), Springer-Verlag New York, pp 21-34, 1996.

[Wilkinson et al 1996] **Wilkilson, G.L., Bennett, L.T, Oliver, K.M.** *Evaluating the quality of internet information sources*, 1997.

[Wortmann et al. 1997] **Wortmann, J.C., Muntslag, D.R. Timmermans, P.J.M.** *Customer-driven-manufacturing.* Chapman & Hall, London, UK, 1997.

[Jacobson & Cohen, 1996] **Jacobson, T., Cohen, L.** *Evaluating Internet Resources.* 1996. [http://library.albany.edu/usered/eval/eresources.html], accès en novembre 2006.

[Smith, 1997] **Smith, A G.** *Testing the Surf: Criteria for Evaluating Internet Information Resources*. The Public-Access Computer Systems Review 8(3), 1997.

[Smith 1996] **Smith, A.G.** *Criteria for Evaluation of Internet Information* [http://www.vuw.ac.nz/~agsmith/evaln/index.htm], accès en novembre 2006.

[Millet et al.06] **Millet, J.G.** *La compétence.* Editions d'Organisation, janvier 2006.

[Yassine et al. 03] **Yassine A., Joglekar N., Braha D., Eppinger S., Whitney D.** *Information Hiding in Product Development: The Design Churn Effect,* Research in Engineering Design, Volume 14, No. 3, November 2003.

[Yassine et al. 1999] **Yassine A., Falkenburg D., Chelst K.** *Engineering design management: an information structure approach",* International Journal of Production Research, vol. 37, n° 13, p. 2957-2975, 1999.

[Zadeh 1978] **Zadeh, L. A.** *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility.* Fuzzy Sets and Systems, vol.1, pp. 3-28, 1978.

[Zarifian 1996] **Zarifian P.** *Travail et communication, essai sociologique sur le travail dans la grande entreprise industrielle.* Edition Puf, 1996.

[Zimmermann 00] **Zimmermann, H.-J.** *An application-oriented view of modeling uncertainty,* European Journal of Operational Research, 122, 190-198, 2000.

Annexes

Annexe 1 Modèles de processus et modèles de produit

A.1.1 Principaux Modèles de processus de conception

Les modèles prescriptifs du processus de conception sont opératoires et produisent des spécifications du processus de conception. Ce sont des méthodes qui ont pour objet de supporter l'apprentissage, de rationaliser le travail, de faciliter la planification des projets, de contrôler et de suivre la conception.

Une première vision du processus de conception portait sur le produit ou la solution. Aucune abstraction n'est considérée pour trouver la solution. Des alternatives de solution sont basées sur des changements dans les propriétés du produit, sont considérées : la géométrie, les matériaux et les méthodes de production [Erkens, 1928] [Wögerbauer, 1943]. Selon Pahl et Beitz [Pahl et Beitz 1993], il y a deux raisons pour cela : l'absence de méthodes pour représenter les informations abstraites et leur relations, et l'opinion que la conception était un art plutôt qu'une activité d'ingénierie.

Ensuite, la vision sur le processus de conception a évolué. L'attention s'est clairement portée sur les modèles de processus. Les auteurs se sont focalisés sur les phases amont du processus, bien qu'ils ne traitaient pas explicitement les besoins client. L'intérêt majeur de ces modèles reste sur la conception détaillée. Cela est illustré par les phases de conception proposées qui spécifient principalement la séquence de détermination des propriétés du produit [Matousek 1957]. Ces modèles incluent des itérations, c'est à dire que les propriétés sont définies plusieurs fois.

La conception, aujourd'hui, devient un thème très important. L'intérêt est, d'une part, porté sur une gestion de la conception plus effective, une attention plus importante aux besoins du client et plus de coopération au sein des équipes de conception, afin de palier au problèmes de qualité [Feilden, 1963]. D'autre part, il est important de s'intéresser aux approches méthodiques afin d'améliorer la conception, et ce afin de palier au problème de manque de personnel.

Presque toutes les approches prescriptives de conception partagent des caractéristiques communes : ils proposent une approche *stepwise* sous forme de séquence de phases. Cela dit, à travers les modèles de processus résultants, plusieurs différences peuvent être relatées. Le

problème majeur dans la comparaison des modèles de processus réside dans la terminologie utilisée pour désigner les phases et les activités. Cette terminologie a des significations différentes.

Parmi les modèles prescriptifs du processus de conception, celui de [Pahl & Beitz 96] (figure 123) est le plus connu. Une séquence de quatre phases ou étapes compose le processus de conception. Ces étapes sont la clarification de la tâche (*clarification of the task*), la phase conceptuelle (*conceptual design*), la formalisation de la solution (*embodiment design*) et la conception détaillée (*detail design*). Ce modèle est basé sur l'approche systémique et orientée par rapport au problème de telle sorte qu'un problème est défini de manière abstraite. Ensuite il est transformé en concepts concrets à partir d'une spécification par étapes impliquant des fonctions, des principes physiques et des principes de solution. Chaque étape préconise des activités à réaliser dans un certain ordre pour arriver à une solution satisfaisante. Le bon déroulement du projet garantit la solution.

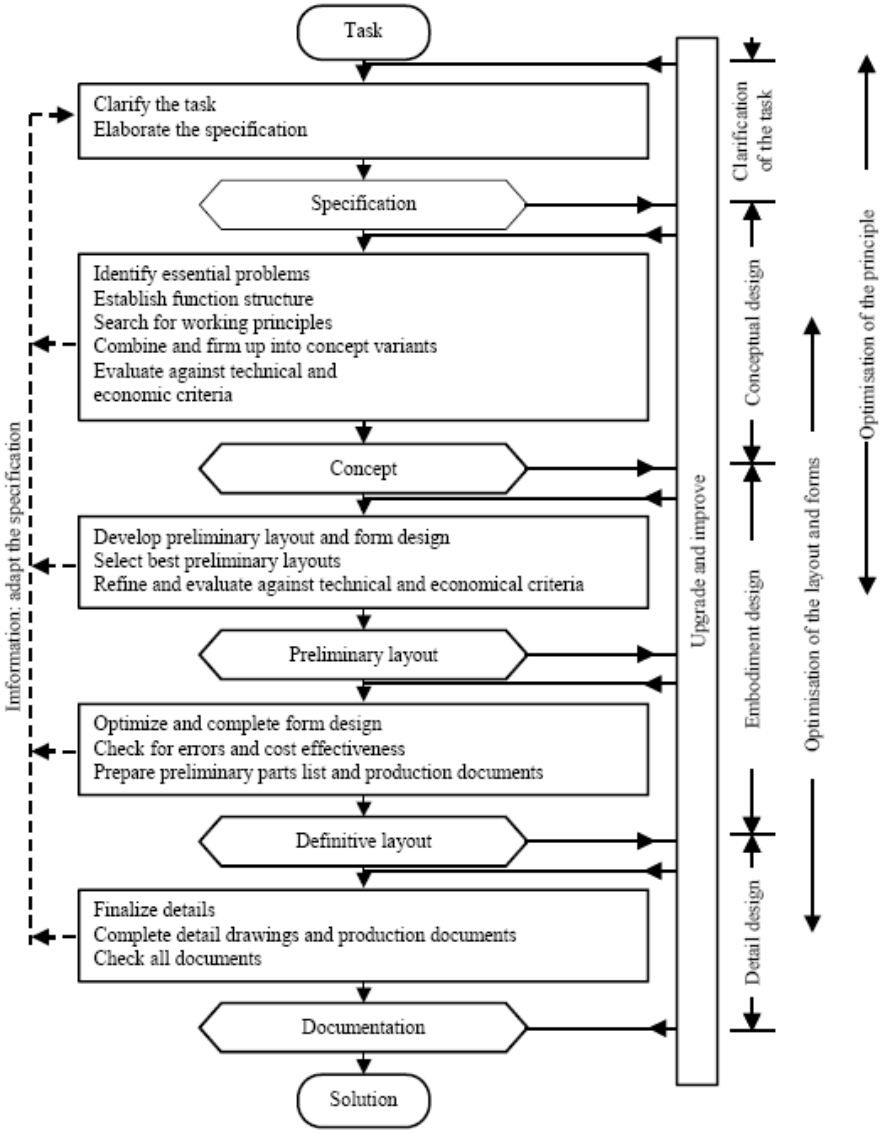


Figure 123 Processus de conception d'après Pahl et Beitz

[Ulrich & Eppinger 00] proposent un processus générique de développement du produit en six phases (Figure 124). Le processus commence par une phase de planning, laquelle est en lien direct avec les activités de R&D et les activités de développement technologiques. Le résultat de cette phase est la mission du projet. Cette dernière devient l'entrée de la phase de développement du concept qui va guider l'équipe de conception. Dans cette approche chaque phase correspond à un état de définition du produit. Dans chaque phase il existe une série d'activités que les concepteurs doivent effectuer pour compléter le processus de conception. Les auteurs notent que ce processus est générique et celui-ci doit être adapté au contexte particulier de chaque entreprise.

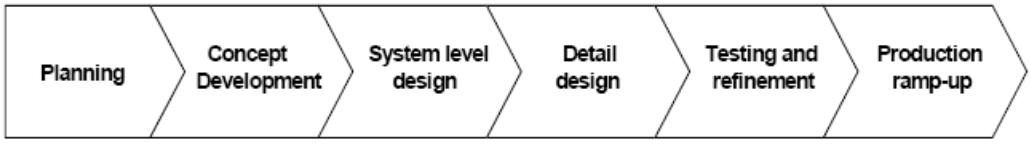


Figure 124 Processus de conception selon Ulrich et Eppinger

La conception selon [Pugh 90] est une activité holistique qui implique une série d'étapes allant de la définition du besoin jusqu'à la vente du produit (figure 125). Le noyau du processus de conception suppose beaucoup de travail collectif de la part des concepteurs, souvent issus de différents domaines, avec des perspectives propres, mais travaillant vers un but commun. Ce but implique certains besoins du client.

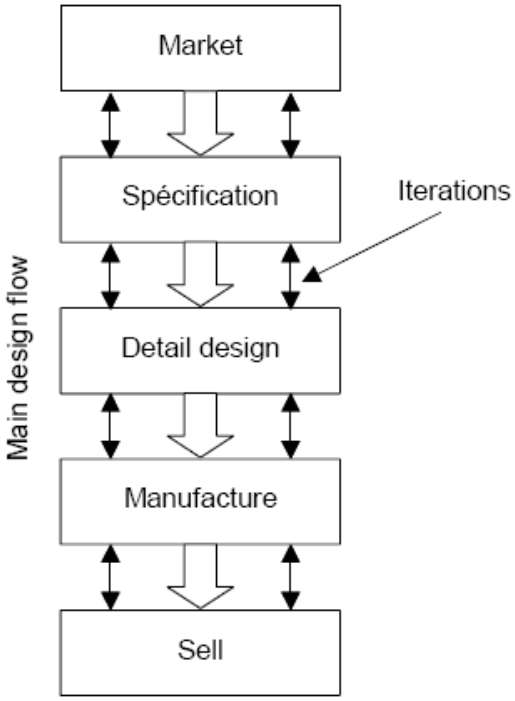


Figure 125 Processus de conception selon Pugh.

Le niveau de décomposition en phases et en activités n'est pas le seul niveau de décomposition d'un processus de conception de produit.

En effet, comme il est exposé dans le chapitre 1, un niveau processus (sous processus ou processus élémentaire[150]) est nécessaire. En effet, ce niveau du processus correspond à des décisions de gel dans le processus considéré. Ces décisions permettent le pilotage du processus (coûts, qualité et délais) et l'avancement du processus de conception.

[150] Un processus élémentaire est un ensemble de phases et d'activités limité par deux jalons durs.

Cela dit, il est difficile de différencier entre les différents niveaux : processus, phase et activité. Les phases principales d'un processus de conception présentes dans tous les modèles prescriptifs, à savoir : *définition de problème, phase conceptuelle et conception détaillée et mise en production* [Blessing 1996], devraient, de notre point de vue, représenter des *sous processus* (élémentaires ou pas) séparés par des jalons de *décision durs* et ayant comme résultats des livrables.

A.1.2 Principaux modèles de produit

A.1.2.1 Niveau d'abstraction du produit

Dans une organisation, plusieurs activités appartenant à différentes fonctions co-existent et implique des partenaires relatifs au cycle de vie du produit à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise. Il existe ainsi plusieurs modèles de produit ; une intégration de l'information de produit réussie est celle qui permet de prendre en compte des modèles de produit partiels et d'assurer leurs cohérences pendant le processus de développement de produit [Mostefai et al 2005]. Le modèle produit est interprété comme la somme de modèles partiels vus par des acteurs distribués dans le cycle de vie du produit.

Selon la phase du processus de développement du produit, le produit est modélisé selon un niveau d'abstraction donné [Gzara 00]. Pour les phases de fabrication et la distribution (dont l'exploitation, la maintenance et la mise en rebus chez le client), le produit est plutôt *physique* (produit physique), par exemple le barrage en terre sous forme de voûte construit sur le site « x ».

Par contre le développement concerne plutôt des produits virtuels**.** Ce sont des modèles de produits à partir desquels, des exemplaires ou des lots (ayant la même définition et les mêmes paramètres technologiques) qui vont être réalisés.

Le produit virtuel peut être un modèle réalisable où tous les choix de composants sont figés. Les exemplaires constituent des réalisations physiques du produit virtuel. Il s'agit donc de *type de produit.*

Le produit virtuel peut être aussi un modèle générique à partir duquel différentes configurations peuvent se décliner. Plusieurs options et variantes sont représentées, à partir desquelles, des choix de composants sont effectués. C'est le cas des entreprises qui adoptent une conception routinière ou celles dont l'offre (produit) est à adapter aux besoins du client (tel qu'un produit hydroélectrique). Le développement ne concerne pas un type unique de

produit mais constitue un modèle générique pouvant être réutilisé plusieurs fois pour la conception de divers types de produit. Un tel produit est appelé *produit générique*.

Donc en résumé, il y a deux niveaux d'abstraction du produit :

- un *niveau physique* correspondant au produit réalisable matériel, et est le résultat du processus de production (figure 126).
- un *niveau virtuel* représente le modèle résultant du processus d'ingénierie. Il représente les *produits génériques* et les *types de produits* (figure 126).

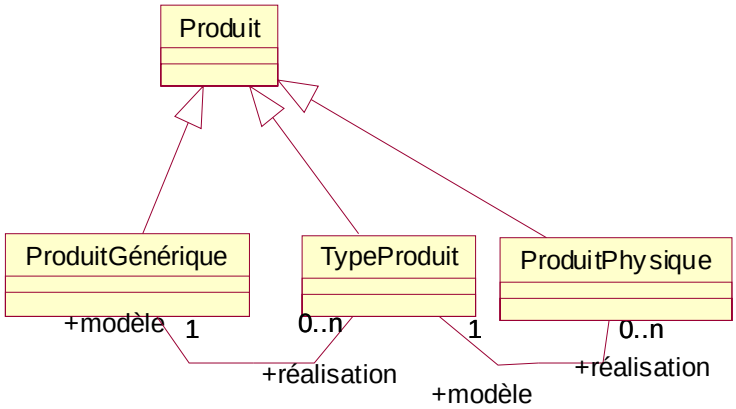


Figure 126 Diagramme de classe UML représentant le niveau d'abstraction du produit [Gzara 00]

Par ailleurs, au produit virtuel, il peut y avoir plusieurs niveaux de raffinement, cela dépend des *options* et des *variantes.* Il peut y avoir plusieurs niveaux avant d'atteindre un niveau virtuel réalisable.

Autrement dit, le type produit doit être un produit virtuel *réalisable* c'est-à-dire composé d'un ensemble de composants réalisables et compatibles entre eux. Pour cela, il ne doit pas y avoir dans la composition du type-produit deux ou plusieurs variantes non interchangeables d'un même composant (par exemple un barrage en terre et un barrage en béton) ou encore deux composants incompatibles. Par exemple une centrale de basse chute avec une turbine Francis (qui est compatible avec une centrale à moyenne chute).

Le produit physique est supposé être obtenu par la réalisation physique d'un type-produit avec un choix particulier entre variantes lors de la fabrication.

Ainsi, dans la littérature on distingue entre un *produit virtuel générique* d'un produit *virtuel type de produit* par les aspects suivants :

- il est générique s'il contient dans sa composition au moins deux variantes non interchangeables d'un même composant ou un composant optionnel incompatible avec un ou plusieurs composants obligatoires,
- il est type de produit lorsqu'il ne présente aucun choix de variantes ou contient des variantes interchangeables ou encore contient des composants optionnels compatibles avec les composants obligatoires.

En terme de structuration, le modèle proposé représente le concept de produit en trois niveaux d'abstraction permettant d'une part de partitionner les connaissances relatives aux différents niveaux et d'autre part de définir des relations entre les niveaux afin de permettre la propagation de propriétés entre les niveaux. Mais aussi afin de suivre l'évolution de l'état du produit et de ces représentations (voir les parties suivantes), à travers les différentes phases du processus.

A.1.2.2 Vision domaine/nomenclatures

Dans le domaine de la gestion de la production manufacturière, un produit est souvent modélisé sous forme de nomenclature de produit. Bourdichon [Bourdichon, 94], par exemple, avance le fait que la nomenclature concrétise la relation composé-composant. Une nomenclature est l'ensemble hiérarchisé des informations nécessaires et suffisantes à la décomposition d'un produit en vue de sa fabrication. Dans cette définition, l'accent n'est mis que sur la décomposition organique du produit. Toutefois, le concept de nomenclature peut être étendu pour désigner toute décomposition d'un objet (objet virtuel). Gzara [Gzara 00] définit la nomenclature comme une *arborescence d'objets virtuels constituée par des noeuds de même nature et ayant des liens de composition entre eux.*

Les nomenclatures représentent le produit virtuel d'un point de vue particulier (figure 127). Le point de vue peut être :
- *sa fonction* : la nomenclature fonctionnelle représente les niveaux successifs de décomposition du produit en *fonctions*.
- *sa géométrie ou feature* : la nomenclature géométrique représente la décomposition du produit en termes d'*entités géométriques* (ou features).

- *son composant organique*[151] : la nomenclature d'études est la représentation hiérarchisée des *organes matériels* constituant le produit, définie lors de la conception.
- *son processus de production* : la nomenclature industrielle (ou de production) est établie en fonction des étapes successives d'élaboration du produit à partir de *matières*, *composants*, *sous-ensembles*.

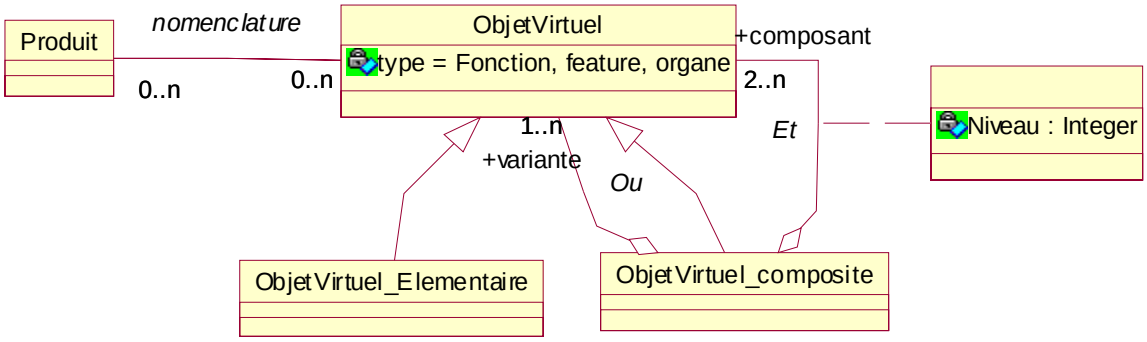


Figure 127 Diagramme de classes UML représentant les nomenclatures d'un produit.

Notons toutefois que la plupart des SGDT présents sur le marché, supporte uniquement les nomenclatures organiques. Nous adhérons à 'opinion de Gzara [Gzara 00] sur le fait qu'il est tout à fait envisageable qu'un système de gestion des données techniques (dont les nomenclatures) gère également les nomenclatures fonctionnelles ou encore les nomenclatures géométriques.

En terme de structuration, le modèle de nomenclature doit représenter une composition récursive d'objets virtuel (fonction, géométrie, composant organique, etc.). Il doit permettre de définir des hiérarchies d'objets simples (nomenclature élémentaire) et d'objets composites (nomenclature composite).

A un produit est associé une nomenclature d'un certain niveau de généricité. Par exemple, la nomenclature organique peut représenter le produit physique, la nomenclature fonctionnelle à n'importe quel niveau de généricité peut représenter un produit.

[151] Les nomenclatures technique, industrielle et logistique sont toutes décrites à l'aide d'articles. Ces dernières sont souvent appelées des nomenclatures organiques.

A.1.2.3 Vision Document (point de vue sur le produit)

Les nomenclatures qui sont attachées au produit virtuel permettent d'en donner une première description, sous forme de structures hiérarchiques décrivant la décomposition du produit.
Mais cette description est généralement insuffisante. Il est donc nécessaire de compléter la description d'un produit, à tout niveau, par des documents appropriés, tels que des cahiers de charges, des plans, des modèles 3D, etc. Tout au long du cycle de vie du produit, les différents acteurs de l'entreprise produisent ou utilisent ces documents.
Cet ensemble de documents et selon le type de l'outil de création peut être physiques (papier) ou électroniques. L'ensemble des informations contenues dans ces documents est *structuré.*
Plusieurs définitions du concept de document sont proposées dans la littérature [BNAE, 92] [Maurino, 93] [AIT, 97b] [IPDMUG, 97] [PDMIC, 98]. Nous citons en particulier la définition suivante : « *un document est un support d'enregistrement d'information (un conteneur) qui a pour finalité de décrire en partie un objet technique (nomenclature) ou les processus qui lui sont attachés* » [Gzara 00].

Plusieurs typologies des documents sont présentées dans la littérature. Dans la norme ISO 9000 [ISO 97], on distingue les *modèles*[152] et les *enregistrements*[153]. Gzara [Gzara 00] distingue les documents *dépendants* des documents *non dépendants*. Un document *dépendant* sert à décrire et à *représenter* l'objet qu'il documente, tel qu'un plan ou un modèle CAO rattachés à un produit. Ce sont des documents qui sont créés suite à la création de l'objet documenté et qui n'ont un sens qu'avec l'existence des objets qu'ils décrivent. Un document *non-dépendant* est utilisé pour *documenter* l'objet auquel il est associé. Il sert comme *supports* pour définir cet objet, telle qu'une norme, un catalogue de produit ou un contrat rattachés à l'objet. De tels documents existent indépendamment de l'existence des objets auxquels ils sont associés.

Dans le présent travail, nous adoptons les termes *« support »* et *« représentation »* (figure 128) pour designer les documents non dépendants et les documents dépendants,

[152] Les modèles visent à définir le produit, l'un de ses processus associés ou à justifier la définition.
[153] Les enregistrements visent à enregistrer l'historique des contrôles, des décisions ou des observations effectuées sur le produit.

respectivement. Nous adoptons cette terminologie car nous pensons qu'elle est plus fidèle au sens qu'elle véhicule.

Les deux natures de documents maintiennent des liens différents avec le produit ou les *nomenclatures* de ce dernier auxquels elles sont associées. Les *représentations*, telles que les plans 2D, *décrivent* et représente des aspects les nomenclatures de produit, alors que les *supports documentent* les nomenclatures de produit (figure 128).

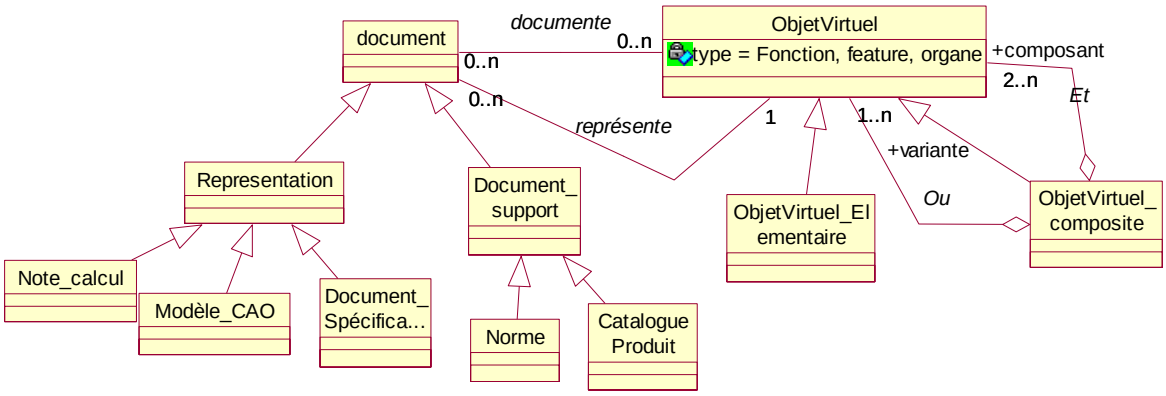


Figure 128 Diagramme de classes UML représentant la typologie des documents

Comme il est cité dans la partie précédente, les paramètres de conception peuvent être des caractéristiques du produit, des informations sur l'environnement du produit, etc. Ils peuvent être élémentaire ou caractérisé par d'autres paramètres de conception, numériques ou de symboliques, peuvent avoir une structure interne telles qu'une forme complexe, etc.

A.1.2.4 Vision Paramètres de conception

Bien que l'ensemble des documents et nomenclatures soit important dans la structuration, la gestion et le suivi des résultats du processus de conception, plusieurs études (projets européens Esprit Project (EP26 780)[154])conduites dans différentes entreprises, ont montré que les acteurs pendant le processus de conception réalisent leurs activités et les suivent non pas en terme de création et de suivi de documents mais en terme d'évaluation des valeurs des « *paramètres de conception* » ainsi que les liens entre ces derniers [KIM 1996].

[154] http://cordis.europa.eu/esprit/home.html

Le concept de paramètre de conception a été repris par Suh [Suh 01] (axiomatic design), dans le domaine physique comme étant des variables physiques clés, qui servent à caractériser la conception et qui satisfont les besoins fonctionnels du produit.

Cette vision de la conception a été reprise par les approches de collaboration basées sur les paramètres PBC (Parameter-Based Collaboration approche) [Rouibah et al. 03, 05]. La notion de paramètre est similaire au concept utilisé pour décrire les attributs d'ingénierie qui sont associés à la structure du produit. La plupart de ces paramètres représentent les caractéristiques du produit (et donc des caractéristiques des nomenclatures), tels que : la hauteur de chute, la puissance installée, l'emplacement de l'usine, etc. Cependant, d'autres paramètres de conception ne le sont pas, tels que : le productible annuel d'un site hydroélectrique. Rouibah [Rouibah 03], à travers l'approche SIMNET[155], utilise la notion de *paramètre de conception* pour décrire les informations qui régissent le processus de conception, c'est-à-dire avec lesquelles les acteurs définissent le produit en cours de la conception et sur lesquelles des hypothèses de conception reposent.

La vision paramètre est largement partagée. Schmitt [Schmitt 00] définit les paramètres de conception comme des variables d'ingénierie. L'auteur désigne par paramètres, les variables élémentaires d'ingénierie. Les paramètres représentent des circonstances spécifiques dans une situation de conception donnée. Ils peuvent se référer aussi bien à des dimensions que des forces, des mouvements, etc. Pendant la conception collaborative, les acteurs prennent leurs décisions en se basant sur les paramètres de conception (figure 129).

[155] Gestion Workflow pour les réseaux d'ingénierie simultanée (Simultaneous Engineering Networks (SIMNET). Ce dernier représente un projet financé par la commission européenne, dans le cadre du programme ESPRIT (EP 26780),

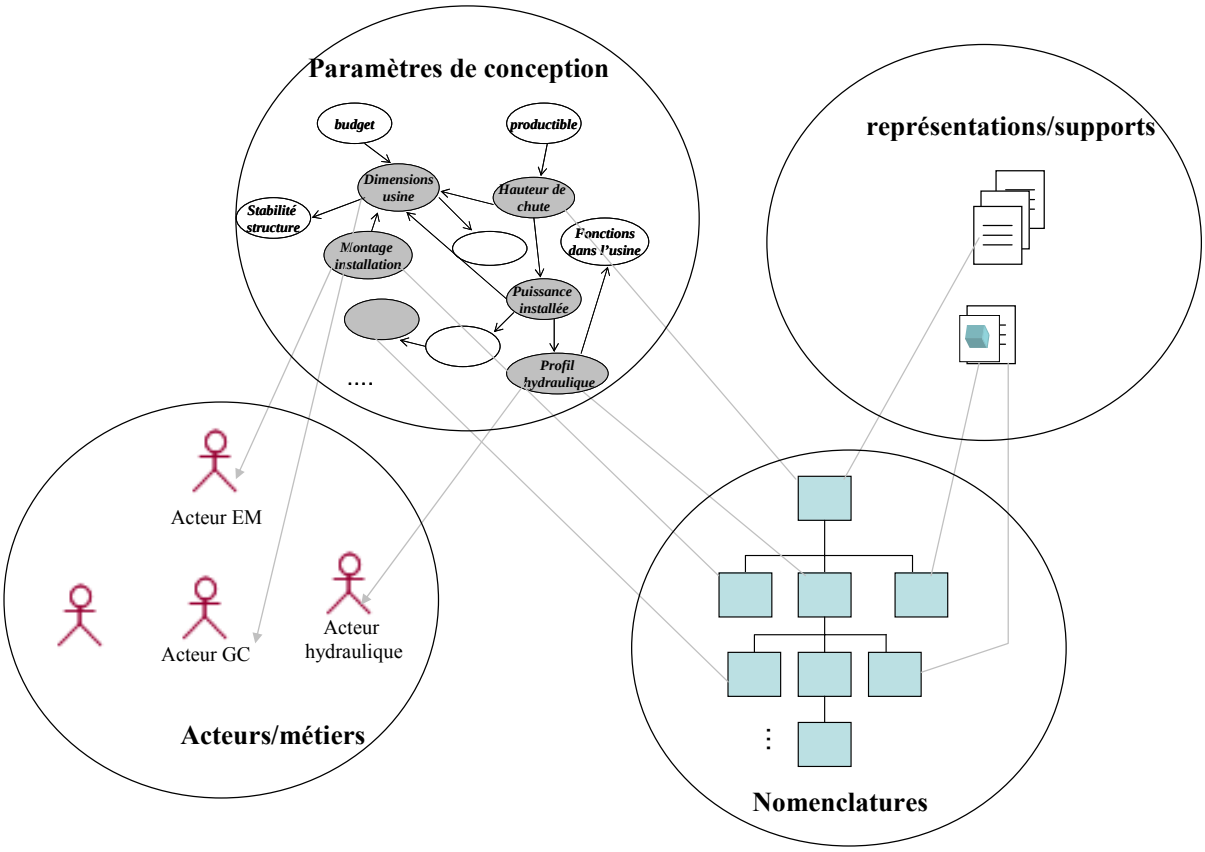


Figure 129 Lien entre les paramètres de conception, le produit, les documents et les acteurs de la conception

Matrin [Martin 00], du domaine de l'intelligence artificielle, définit le *paramètre comme un aspect de la conception qui a besoin d'être déterminé*, et donc renferme une (ou des) décision(s) concernant la conception. L'auteur précise qu'un paramètre peut prendre des valeurs numériques, comme il peut prendre des valeurs symboliques ou avoir une structure interne telles qu'une forme complexe, la manière de monter une machine, etc. (figure 129). Les paramètres de conception peuvent aussi être regroupés avec d'autres paramètres pour former une unité, tel qu'un profil hydraulique qui est composé du débit amont, de la hauteur de chute, etc. Cela dit, les utilisateurs (acteurs de la conception) peuvent modéliser les produits à l'aide d'une liste de paramètres. Martin propose un système de qualification des paramètres de conception *Signposting* où le produit est modélisé selon une structure hiérarchique de ces derniers.

Cependant, la modélisation, a priori, du produit sous formes d'une hiérarchie de paramètres, ne semble pas une représentation stable. En effet, dans l'exemple de l'ingénierie hydraulique

(chapitre 2), les paramètres de conception sont créés en *fonction des nécessités des acteurs*. Ils ne sont donc pas donnés au départ. Les paramètres de conception apparaissent aux besoins et disparaissent dans le cas contraire [Laureillard 00]. Nous pouvons toutefois représenter le méta modèle UML décrivant les liens entre les paramètres de conception et tout autre objet dans le modèle de données (figure 130).

En outre, certains paramètres de conception sont collaboratifs, tels que : la hauteur de chute, la largeur de l'usine, l'encombrement de l'usine, etc. (figure 129). Ce sont ceux qui permettent les prises de décision collectives entre plusieurs acteurs, c'est-à-dire ceux qui jouent les rôles d'objets intermédiaires (figure 130).

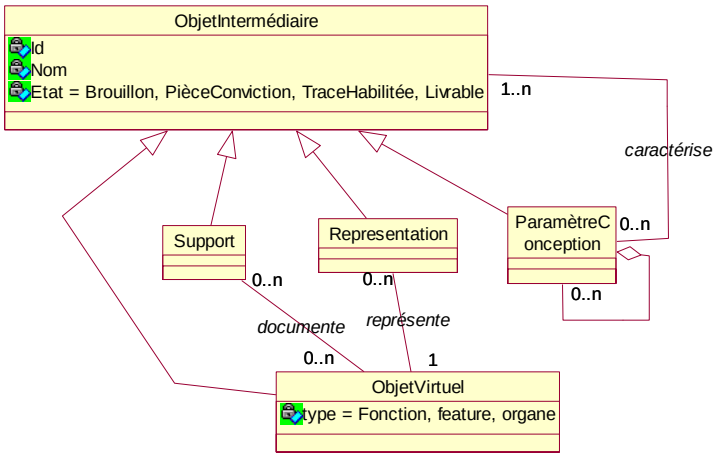


Figure 130 Méta modèle représentant les liens de caractérisation entre les paramètres de conception et les autres objets du modèle produit

A.1.2.5 Modèle de produit selon quatre axes

Noël, Roucoules et Teissandier [Noel et al. 04] définissent un modèle de produit générique qui englobe certains aspects cité ci-dessus et qui proposent de représenter le produit suivant quatre axes :

- *Représentations des services :* chaque service a sa propre définition du modèle produit. Pour les concepteurs, à travers les modeleurs géométriques, décrive le produit en terme de géométrie. Pour les ingénieurs, ces modèles représentent des données d'entrée sur lesquels ils ajoutent des informations technologiques afin de l'utiliser dans leurs activités.

- *Niveau de détail :* Le niveau de décomposition du produit en composants, sous composants, en composants communs, composants optionnels, etc. doit être décrit dans le même modèle afin de permettre aux acteurs de se focaliser sur un détail donné en fonction des problèmes de

conception traités. Cet axe peut être assimilé à la vision niveau de généricité présenté dans la partie ci-dessus.

- *Représentations culturelles : C*et axe renvoie aux différents points de vue que les acteurs peuvent avoir sur le produit. La représentation de la structure du produit n'est pas la même quand il s'agit du métier d'électricité ou d'électromécanique. Le premier va analyser la structure du produit d'un point de vue d'espaces entre les parties (pour le passage des câbles), ce qui n'est pas le cas pour le deuxième métier (électromécanique).

- *Etats du produit durant son cycle de vie* : L'évolution du produit des phases amont aux phases de maintenance et de recyclage, implique différents états du produit et de ses composants. Par exemple, une pièce forgée est au début du processus de conception définie comme un simple bloque de matériaux, ensuite comme une pièce pré formée avec certains attributs, jusqu'à arriver à sa forme d'usage, et ainsi de suite. Si toutes ces étapes sont considérées dans l'activité de conception, alors les différentes représentations associées à l'évolution du produit, doivent être associées afin de suivre l'évolution de l'état du produit.

A travers ces axes, les auteurs propose un modèle de produit générique pouvant être utilisé par plusieurs concepteurs quelque soit leur point de vue, leur savoir faire, l'étape du processus considérée, etc. c'est-à-dire permettant la collaboration entre les acteurs de différents métiers, services, etc. Quatre concepts sont définis pour décrire le modèle produit (figure 131). Les *composants* ou les partition du produit, les interfaces ou les propriétés par lesquelles un composant peut être lié à l'interface d'un autre composant, les fonctions qui sont les relations entre les composants et les comportements et les *comportements* qui représentent les différents états modales durant le cycle de vie du produit.

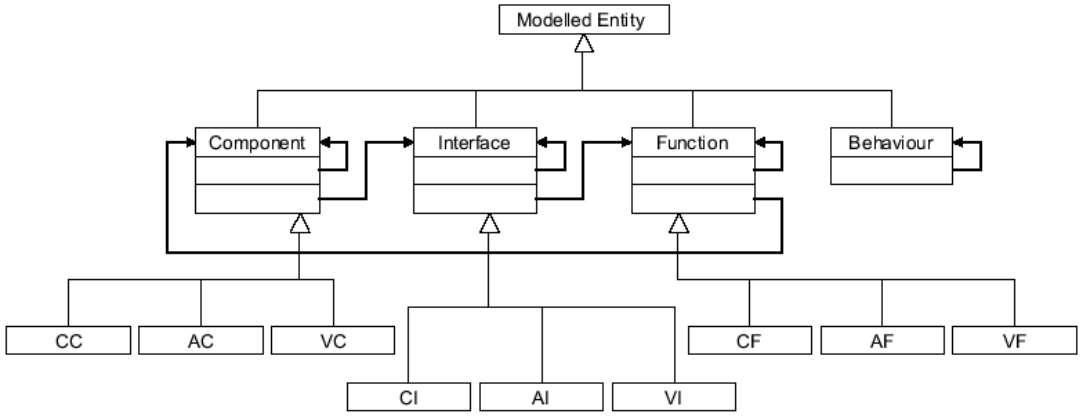


Figure 131 Diagramme de classe du modèle de produit [Noël et al. 04]

L'intérêt majeur de ce modèle est la représentation des différents concepts relatifs au produit (y compris les interfaces et les comportements) ainsi que leurs liens dans un seul modèle. Par cette modélisation du produit, les auteurs veulent rendre possible le partage des données de produit entre les différents métiers, à travers les différentes représentations et durant tout le cycle de vie du produit. Ce modèle peut être couplé avec les autres modèles de produit définis préalablement. Bien que le modèle de produit résultant soit très utile pour les différentes gestions du produit (gestion des configurations, gestion des conflits, etc.), dans la présente thèse, nous ne considérons pas la totalité du modèle produit, nous ne considérons pas, par exemple, les liens entre les nomenclatures (du même produit ou de produits différents).

Ainsi, nous représentons un produit, par un niveau donné (générique, type ou physique), par des nomenclatures qui le représentent, par des documents qui décrivent ou le documentent les nomenclatures et par des paramètres de conception. Ces derniers représentent des paramètres de conception sur lesquels reposent le plus ample des décisions en conception. Ils caractérisent des nomenclatures, des représentations et même d'autres paramètres de conception (figure 132).

Certaines informations de conception (représentations, supports, nomenclatures et paramètres de conception) sont à l'intersection de plusieurs points de vue et donc sont collaboratives. Ainsi, dans la suite de cette thèse nous nous intéressons à ce type d'information à savoir les *objets intermédiaires*.

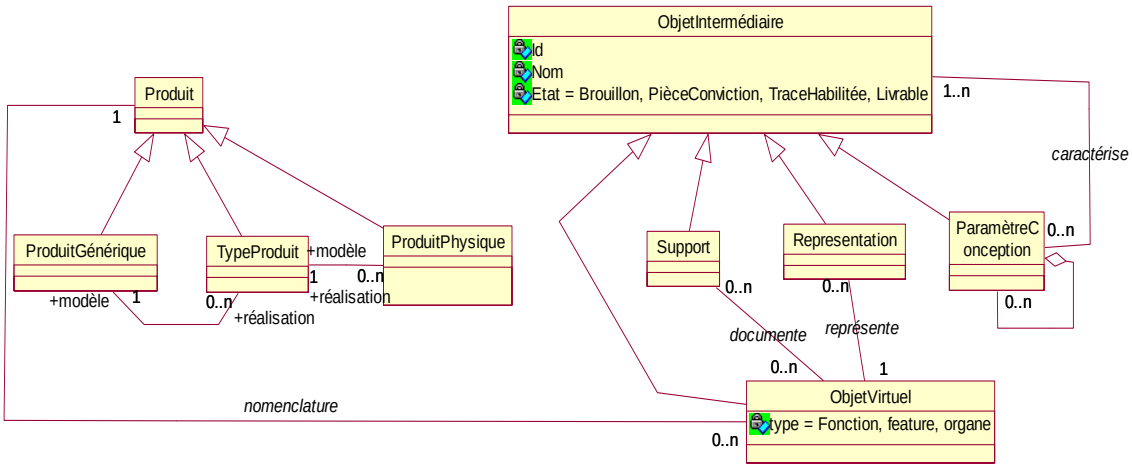
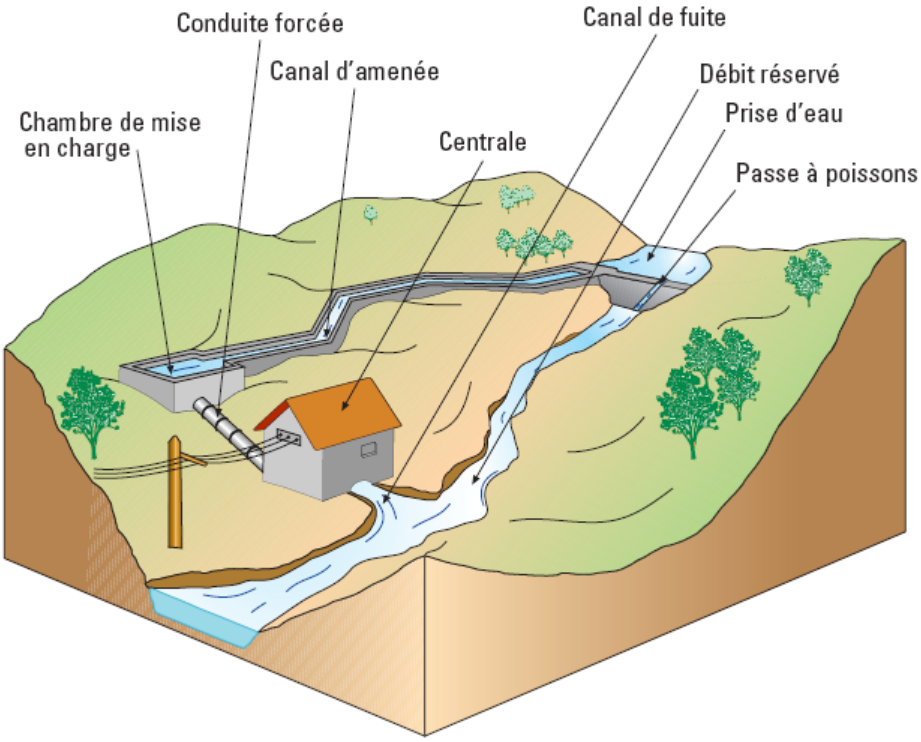


Figure 132 Méta modèle représentant le modèle générique de produit

Annexe 2 : Principales installations hydroélectriques

A.2.1 Site hydroélectrique



A.2.2 Exemples de quelques ouvrages hydrauliques

A.2.2.1 Barrage

Barrage

Source : CIH

A.2.2.2 Centrale Hydroélectrique

Centrale Hydraulique (Canada)

Source : Google

A.2.2.3 Conduites forcées

Conduites forcées du barrage de Gokcekaya (Turquie)

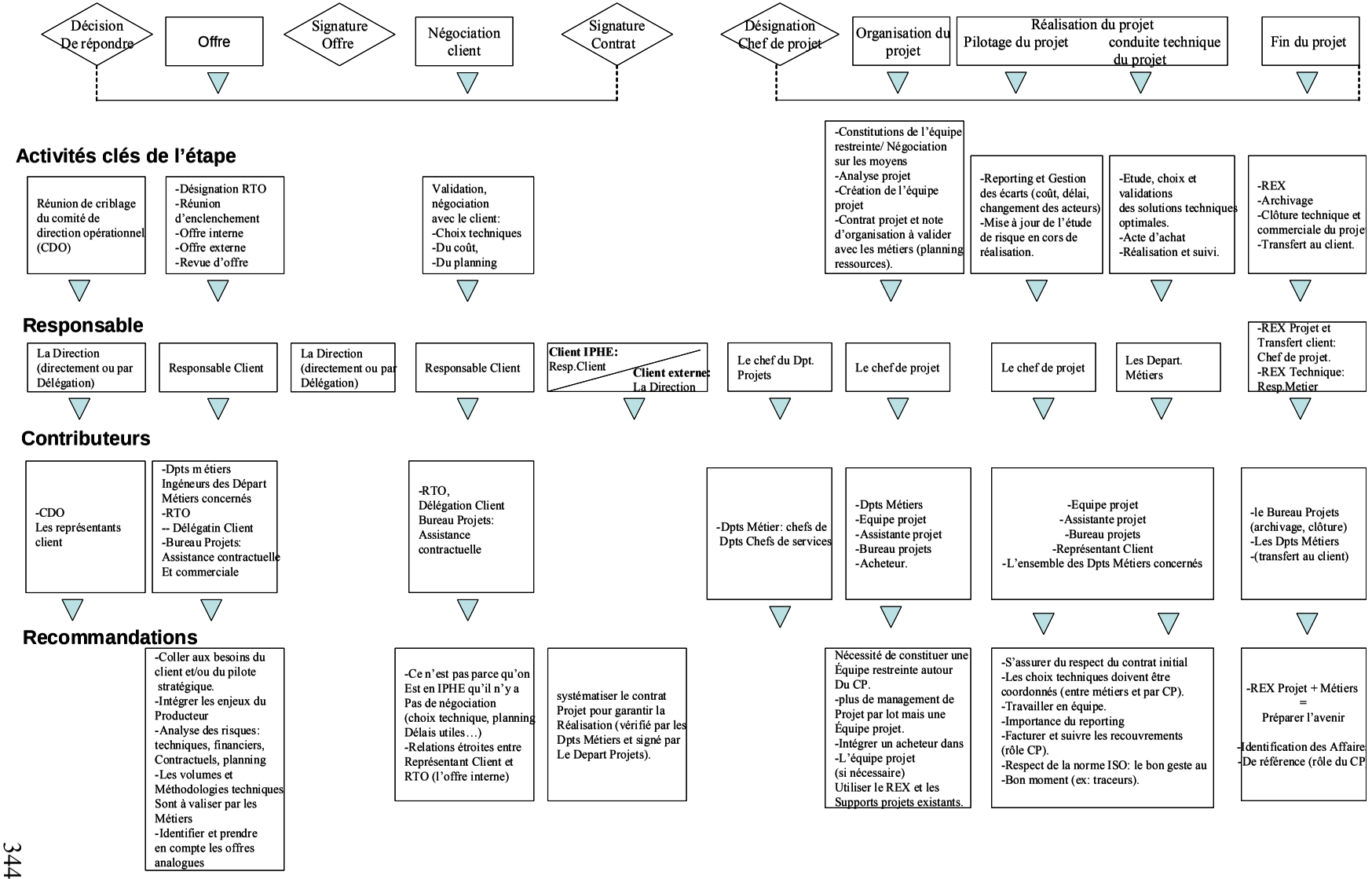
Source : Google.

A.2.2.4 Turbine

Turbine du barrage hydraulique d'Itaipu (Pérou)

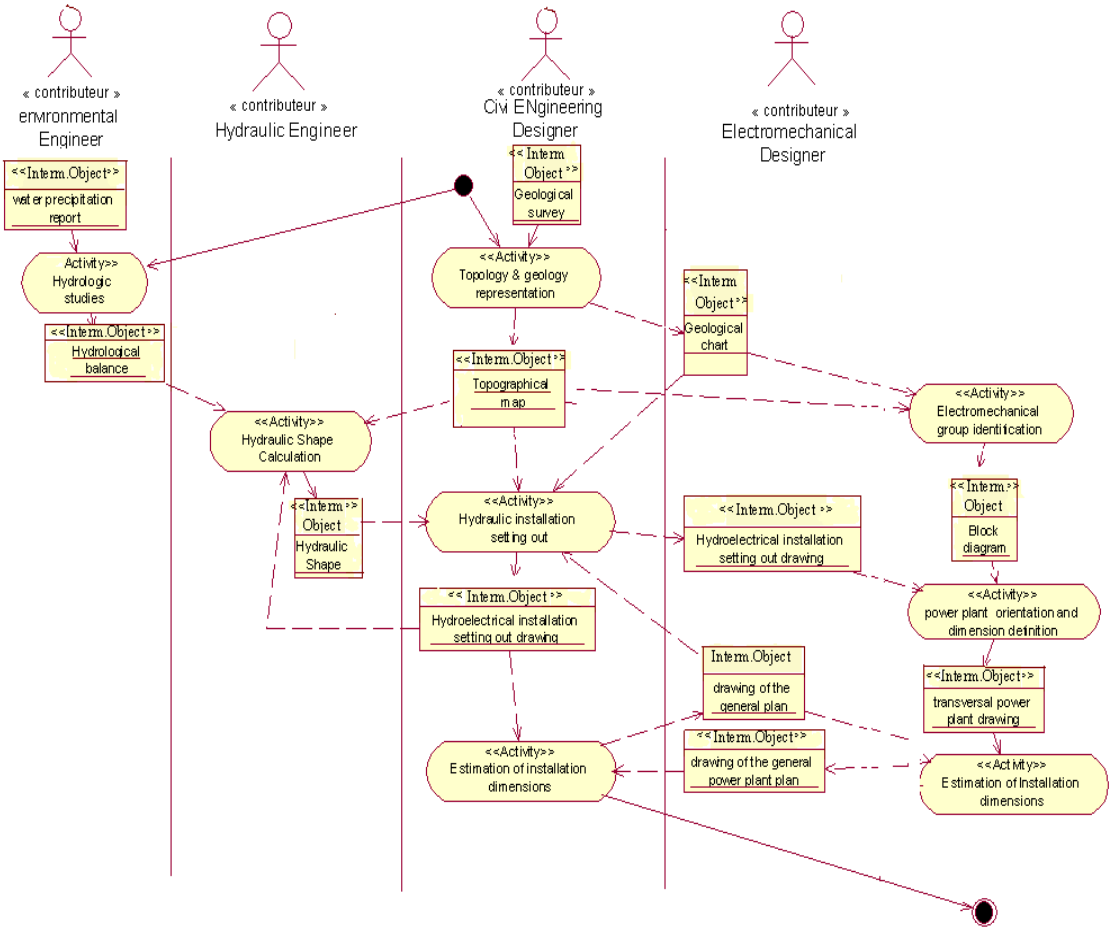
Source : Google

Annexe 3 Processus de définition de produit hydroélectrique référencé au CIH



Annexe 4 : Sous processus de Faisabilité au CIH

A.4.1 Diagramme d'activité UML



A.4.2 Principaux paramètres de conception en conception hydraulique au CIH

Paramètres de conception (informations critiques)	**Installations Concernées**	**Ouvrage concerné**	**Fonctions concernées**
Puissance installée Hauteur de chute Débit turbiné Dimension de l'usine Encombrement des machines	Transformateur, Turbine générateur Installations auxiliaires Groupe électrogène Stations de drainage	Usine	Génération d'énergie
Hauteur chute Débit de la rivière, Puissance des turbines Débit turbiné, Implantation des ouvrages Acheminement, Implantation des conduites Diamètre et matériaux Epaisseur Blindage Terrassement…	Conduites au niveau du barrage, Galeries d'amener l'usine, Conduites forcées Canaux de rejet…	Barrage/usine	Acheminement de l'eau
Cote nominale de la retenue, Surface de la retenue, Cote de régulation barrage, Hauteur de la chute, Implantation de la digue, ou barrage Puissance des turbines. Système de commande Installation de filtrage…	Vannes Centrale à huile, Vérin hydraulique, Evacuateur de crue Prise d'eau Vidange de fond	Barrage Usine	Gestion du niveau d'eau et du débit d'eau

Tableau 13 Exemples de paramètres de conception en ingénierie Hydraulique

Paramètres de conception	**Installation concernée**	**Ouvrage concerné**	**Fonctions concernées**
Emplacement dimension débit Taille des poissons …	dégraveur, dégrilleur Pompe de défeuillage, etc.	Prise d'eau	Filtrage de l'eau
Epaisseur mur, voile Portée du pont roulant Dimension pompe De fausse de drainage Type de turbine Dimension grille…	pont roulant pompe de drainage dégrilleur galerie de drainage…	Usine Prise d'eau Barrage : plot central et plots rives	Auxiliaires : levage, drainage…
Salle contrôle commande : Emplacement,	Installation vidéo pour une passe à poisson commande d'ouverture des vannes poires de niveau de la retenue, capteur de débit du barrage, capteur de débit turbiné	Passe à poisson Prise d'eau/usine Barrage/usine	Contrôle /commande et surveillance

Epaisseur Gaine de ventilation, Tuyau d'échappement Dimension stockage de fuel, Bac de rétention Puissance installations Nombre de câbles Puissance pompe de drainage, de réfrigération, de ventilation, climatisation, Type d'évacuation : simple ou blindée, etc.	Groupe électrogène, Evacuation d'énergie Câble d'alimentation Gaine de raccordement	Barrage Usine	Alimentation électrique
Type de turbine[156] Débit d'attrait vannes Débit de la passe Dimension bassins		Passe à poisson Prise d'eau	Affranchissement des poissons

Annexe 5 Tableaux d'estimation des critères de maturité

A.5.1 Tableaux d'estimation de la variation et de la sensibilité d'une information

Variation
How fixed are the design requirements?
[Krishnan et al. 97]

- Quelle est la fréquence de changement évaluée?
- Quelle est la prochaine date de changement évaluée?
- Combien de tâches préliminaires faudrait il pour que l'information arrive à sa valeur finale ?
- Quel est le taux de changement évalué ?
- Quelles sont les raisons possibles du changement ?
- l'information a-t-elle une interface avec plusieurs autres informations sujettes au changement ?
- l'information requiert-elle des informations fournies par un facteur hexogène ? ce facteur est-il disponible tardivement dans le processus ?
- l'évaluation de l'information implique t-elle la résolution d'un problème complexe ?

Sensibilité
What is the design risk when a change occurs? [Krishnan et al 97]

- Quelles sont les mécanismes habituels utilisés (sortware, analyste, etc.) pour intégrer cette information dans les résultats de l'activité?

- Y a-t-il des technologies particulières pour intégrer les modifications ?

- Quels sont les éléments de contrôle de l'activité (normes standards, spécifications techniques, plan de développement, etc.) et quelle est leur importance ?

- L'information a-t-elle une interface avec d'autres informations ?

- La modification de la valeur de l'information implique t-elle la résolution de problème complexe ?

- La modification de la valeur de l'information implique t-elle la modification d'un facteur exogène ?

- Quelle est la durée nécessaire pour intégrer les modifications (changements) dans la valeur de l'information ?

- Jusqu'à quelle magnitude de changement sur l'information, la durée nécessaire à intégrer ce changement reste la même ?

A.5.2 Tableau d'estimation de la complétude d'une information

Complétude

Quelle est la profondeur de l'information ?

- quel est le degré d'abstraction de l'information ?
- quel est le degré d'imprécision de l'information ?
- quel est le degré de détail de l'information ?
- jusqu'à quel degré l'information est-elle vague ?

Quelle est l'ampleur de l'information ?

- l'information répond t-elle à tous les objectifs (thèmes) visés par l'utilisateur ?
- quel est le degré d'expertise de l'utilisateur ?
- l'information est-elle équivalente à d'autres informations sur le même thème ?

Annexe 6 Procédures DSM (Design Stucture Matrix)

A.6.1 Algorithme de Lawler

La procédure de Lawler se base sur une présentation matricielle du processus de conception. Cette représentation est connue sous le nom de DSM (Design Structure Matrix) développée pour la première fois par Steward [Steward 1981, 1991]. Plusieurs algorithmes sont développés afin d'ordonner (réordonner) les activités, Steward a suggéré qu'après avoir détecter la source d'itération de retour en arrière (ligne et colonne de la matrice), il s'agit d'inter changer les lignes et les colonnes et répéter cette procédure jusqu'à ce qu'il ait plus de lien de retour. Plus tard [Kingston 1990] présente un l'algorithme *« Sorting algorithm »* qui fonctionne en enlevant du digraphe les nœuds qui n'ont pas d'input et leurs correspondants arcs sortant. [Lawler 1976] a développé une procédure simple pour trouver un ordre topologique des activités utilisant la forme matricielle et en l'absence des cycles. Nous la présentons dans le paragraphe suivant.

1. Calculer le degré input de chaque activité i (A_i),
2. Considérer les activités dont les degrés input sont nuls et les ranger en premier
3. Enlever ces activités ainsi que toutes les marques associées sont effacées de la DSM,
4. Revenir à 1,
5. s'il n'existe aucune activité avec un degré input non nul et que la DSM est non vide, cela veut dire que la DSM contient au moins un cycle de dépendance et la procédure est arrêtée. Aller à la procédure 1.
6. si la DSM est vide, la procédure est arrêtée.

<u>Procédure 1</u>

1. calculer la somme sur toutes les lignes de la matrice (la somme des taches)
   poser $I_i=\sum^{n}_{j=1}a_{ij}$, i=1,…,n.
   Poser N ={1,…,n}
   Poser m=1.
2. Détecter des noeuds avec des degrés entrants
   Trouver un k € N tel que $I_k = 0$. Si un tel indice (k) n'existe pas, arrêter la procédure; le digraphe contient des cycles.
   Incrémenter le rang (k)=m

$m = m+1$

$n= n-k$

Si N= vide, arrêter; le calcul est complété.

3. reviser les degrés entrants

   $I_i=I_i-a_{ik}$ pour tout “i” dans “N”

   Retourner à l’étape 2.

Annexe 7 Facteurs de performance du processus de développement de produit

A.7.1 Evolution des probabilités d'itération « design version3 et « churn iteration »

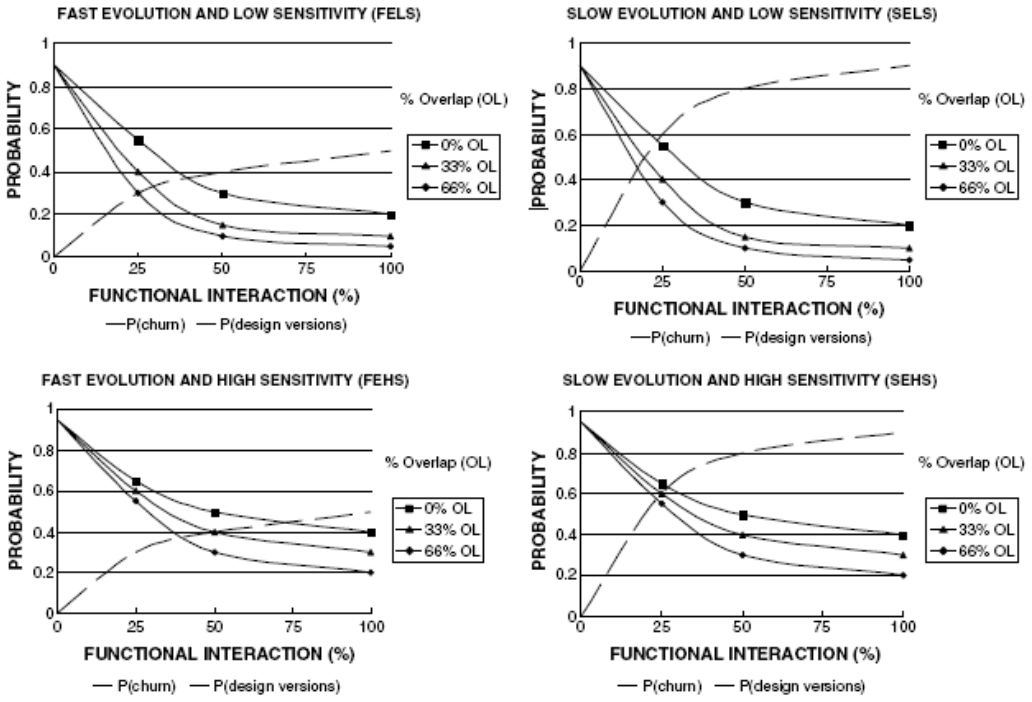


Figure 133 Evolution des probabilités d'itération en fonction des taux d'interaction et des taux de recouvrement [Bhuiyan, Gerwin et Thomson 04]

A.7.2 Etude expérimentale du processus de développement e produit et résultats

La figure ci-dessous indique 2×2×3×4 situations de conception avec quatre cas d'incertitude : variation rapide ou lente avec une sensibilité faible ou élevée.

Trois taux (OL) de recouvrement sont considérés : 0%, 33%, et 66% combinés avec quatre taux d'interaction (FI) : 0%, 25%, 50%, et 100%. Dans chaque cas dans le tableau ci-dessous (48 cellules) cinq mesures sont réalisées pour chaque variable de temps et d'effort. Exceptions faites pour les six pairs de cellules, chacune représente une évolution rapide ou lente avec un taux d'interaction nul (0%) et un taux de recouvrement donné. Cela est dû au fait que ces cellules ont les mêmes valeurs des paramètres du modèle, elles représentent les mêmes valeurs de l'effort et du temps. Afin de réduire le nombre de cas à traiter, le modèle expérimental a été exécuté pour une seule de ces cellules, mais utilise les résultats pour toutes

les autres cellules. Par conséquent, au lieu de traiter 48×5=240 calculs, le modèle a exécuté (48−6)×5=210 calculs.

		Fast Evolution					Slow Evolution			
		FI=0	FI=25	FI=50	FI=100		FI=0	FI=25	FI=50	FI=100
Low Sensitivity	OL=0	SE	SE	SE	SE	OL=0				
	OL=33	ED	CE	CE	CE	OL=33				
	OL=66	ED	CE	CE	CE	OL=66				
		FI=0	FI=25	FI=50	FI=100		FI=0	FI=25	FI=50	FI=100
High Sensitivity	OL=0					OL=0				
	OL=33					OL=33				
	OL=66					OL=66				

Figure 134 Les études de cas considérées dans [Bhuiyan et al. 04]

La figure ci-dessous représente les résultats de la simulation. Etant donné des conditions d'incertitude (variation et sensibilité), trois courbes exprimant l'évolution des efforts et du temps de développement, sont représentés. Chaque courbe correspond à un taux de recouvrement donné (0%, 33% et 66%). L'évolution de la courbe de droite à gauche correspond à différents points de valeurs de plus en plus élevées du taux d'interaction.

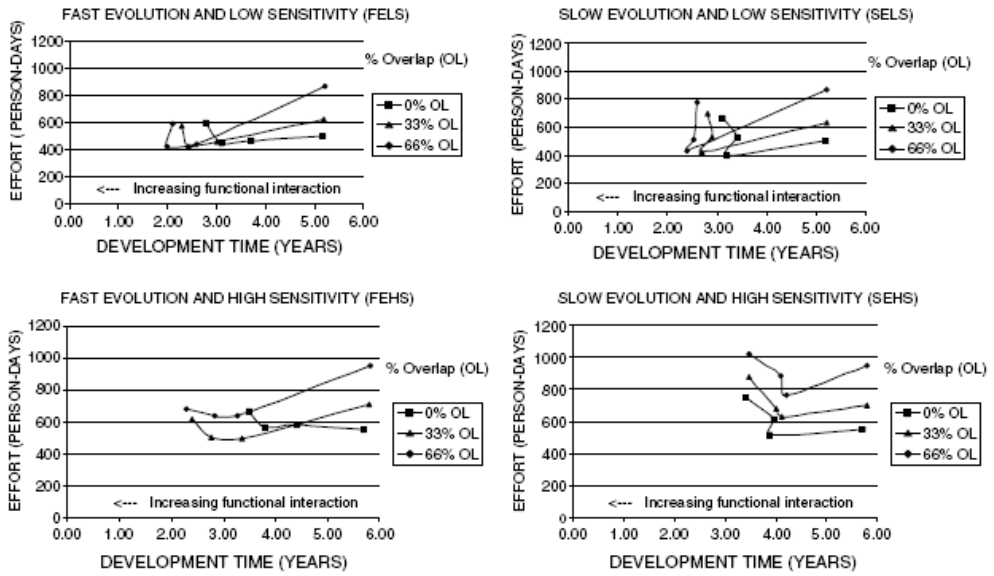
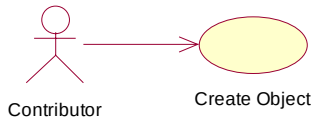


Figure 135 Les résultats de simulations dans [Bhuiyan et al. 04]

Annexe 8 Spécifications du Prototype PIQUANT

A.8.2 Digrammes de Séquences

Diagramme de séquence de Création d'un objet intermédiaire



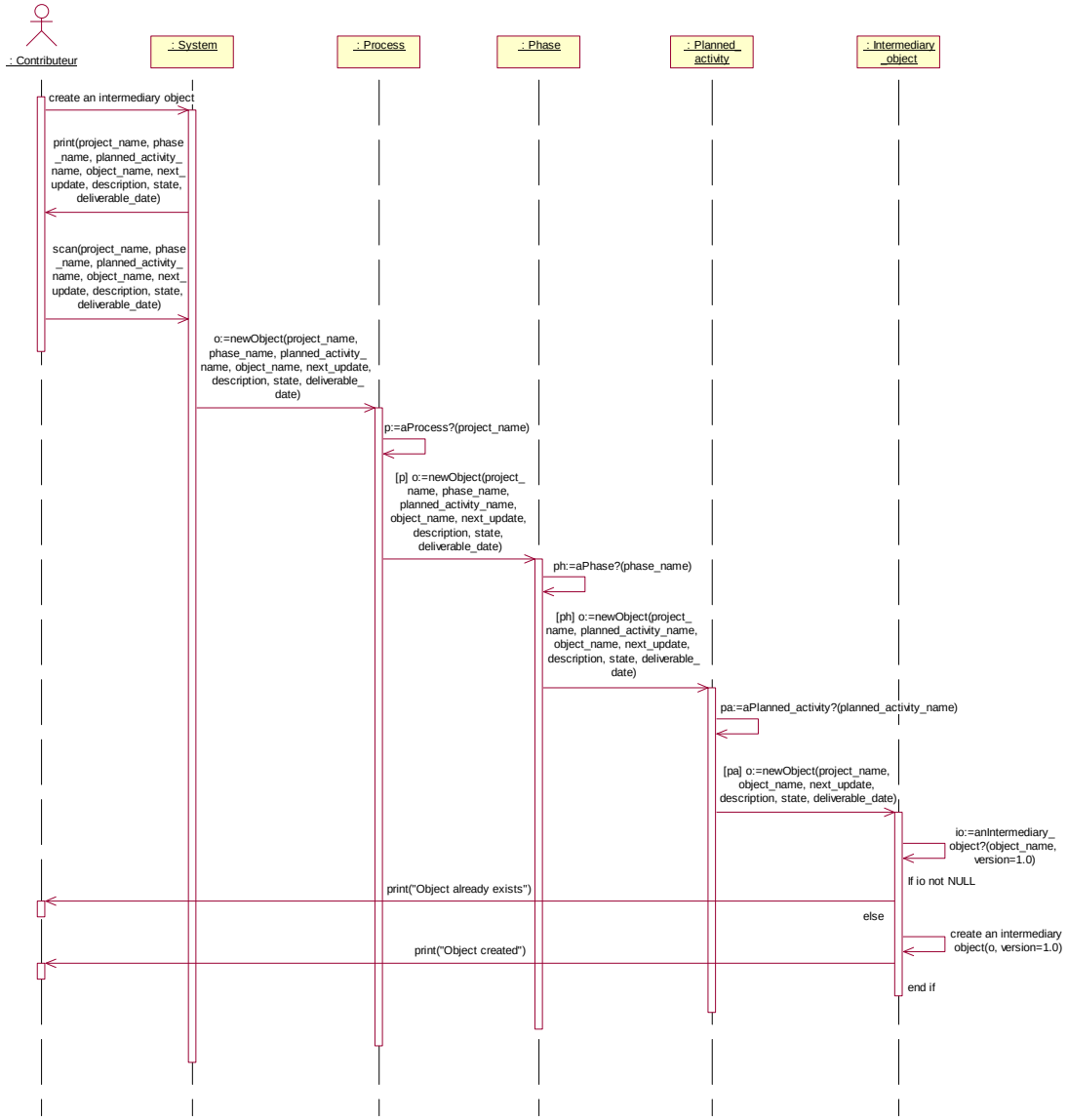
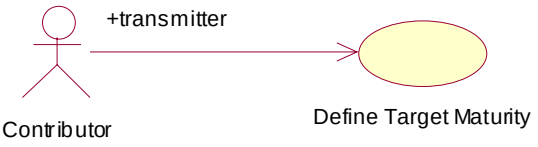


Figure 136 Diagramme de séquence représentant un scénario de création d'un objet intermédiaire

Diagramme de séquence de définition des maturités cibles



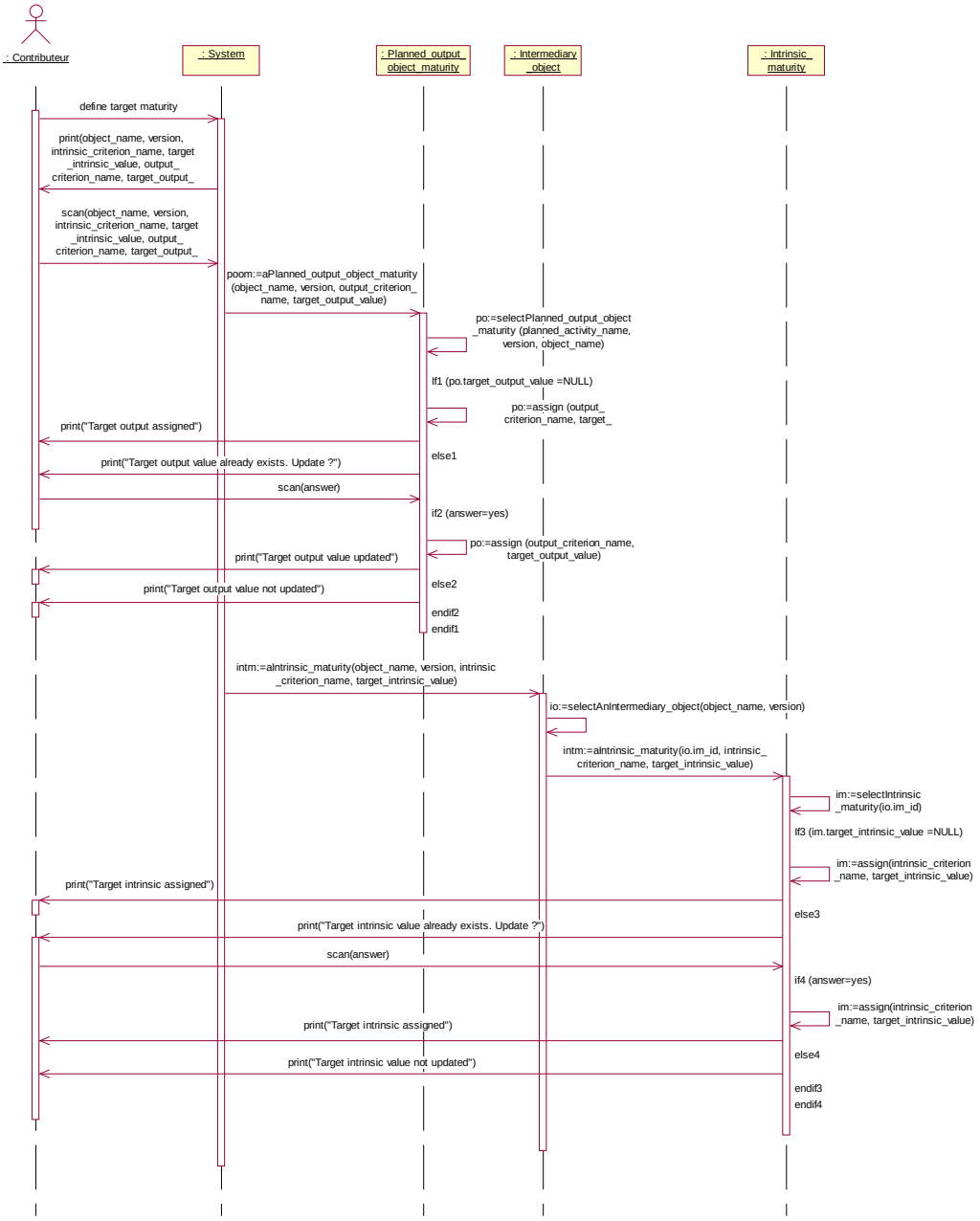
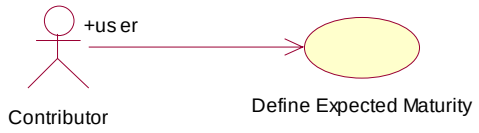


Figure 137 Diagramme de séquence représentant un scénario d'affectation des maturités cibles à un objet intermédiaire

Définir la maturité attendue



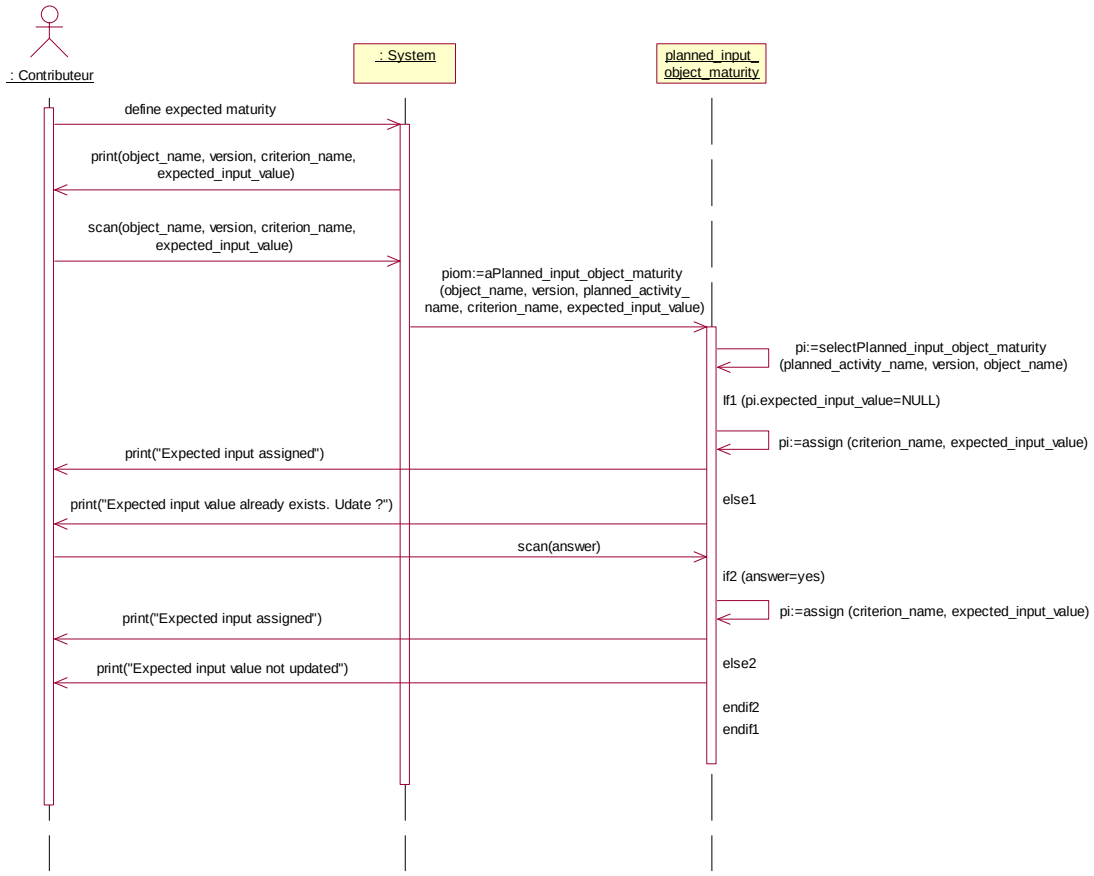
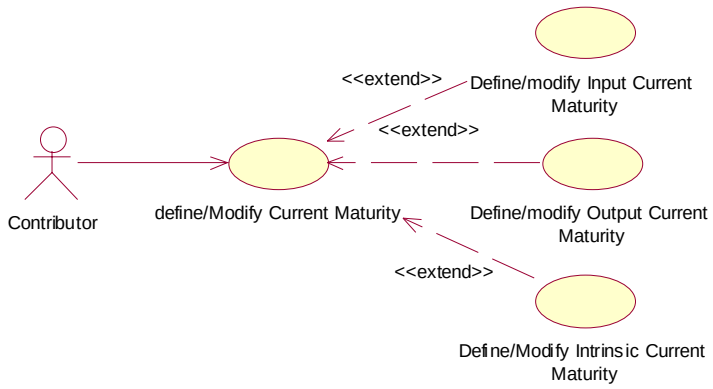


Figure 138 Diagramme de séquence représentant un scénario d'affectation de la maturité attendue à un objet intermédiaire

Définir la maturité en cours



Définition de la partie input de la maturité en cours

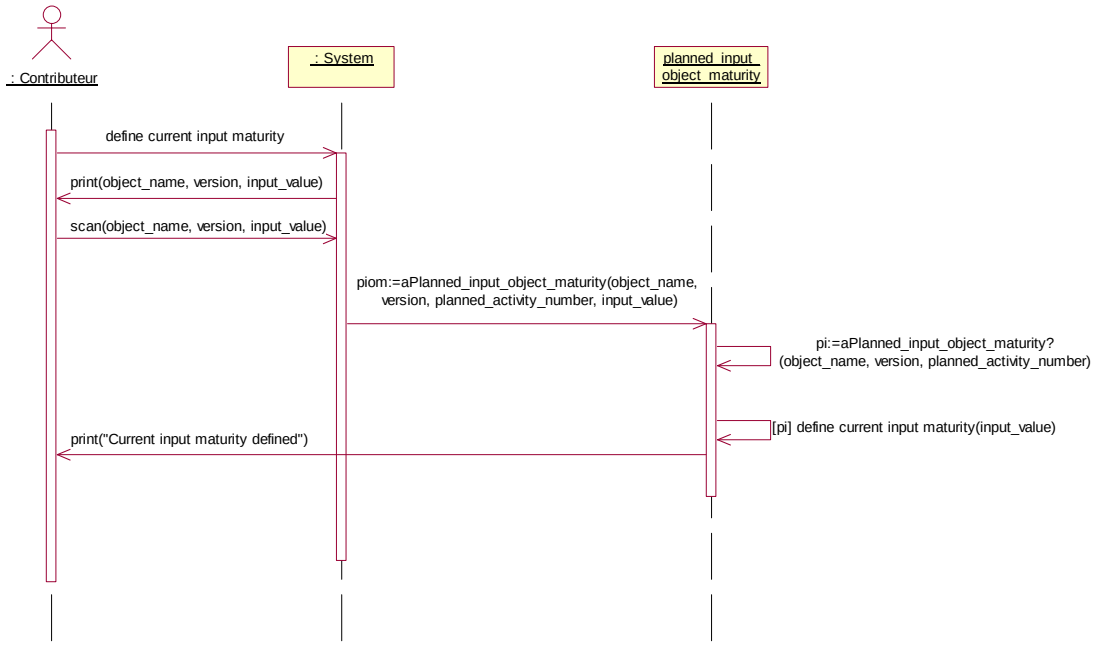


Figure 139 Diagramme de séquence représentant un scénario d'affectation de la partie input de la maturité en cours d'un objet intermédiaire

Définition des parties output et intrinsèque de la maturité en cours

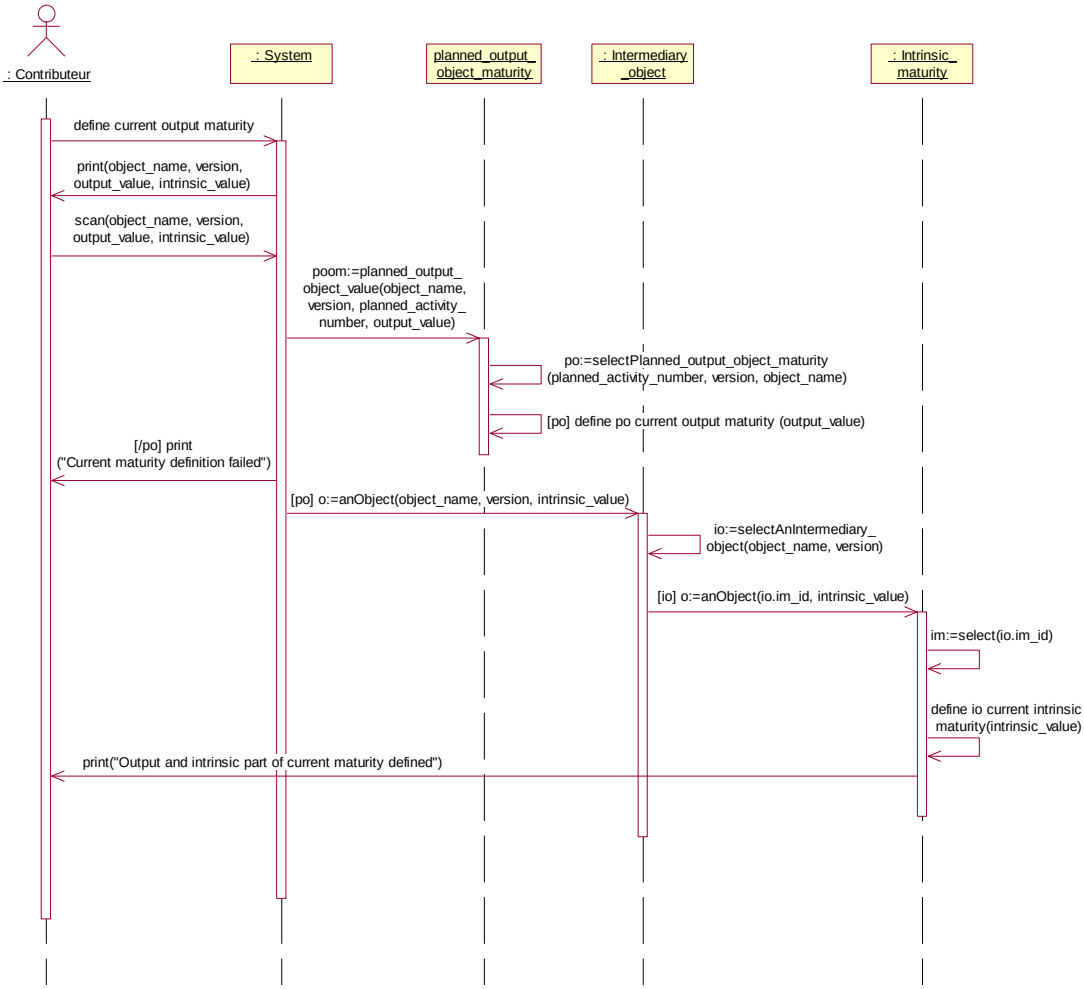
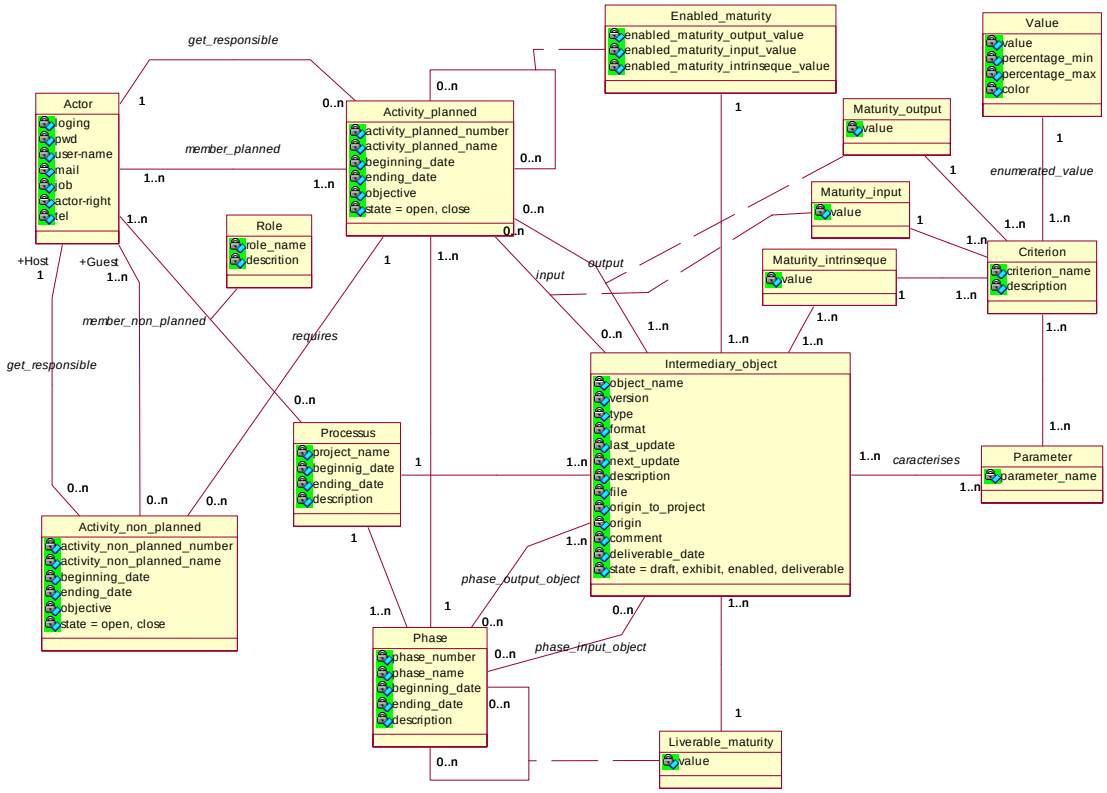


Figure 140 Diagramme de séquence représentant un scénario d'affectation des parties output et intrinsèque de la maturité en cours d'un objet intermédiaire.

A.8.3 Diagramme de classe



A.8.4 Schémas relationnels

process (project_name, beginning_date, ending_date, description)
role (role_name, description)
actor (login, pwd, user_name, mail, job, actor_right, phone)
assign_role (login#, project_name#, role#)
phase (phase_number, phase_name, beginning_date, ending_date, description, state, project_name#)
planned_activity (planned_activity_number, planned_activity_name, beginning_date, ending_date, objective, state, login#, phase_number#). login# correspond au responsable.
planned_member (planned_activity_number#, login#)
non_planned_activity (non_planned_activity_number, non_ planned_activity_name, beginning_date, ending_date, objective, state, comment, login#, planned_activity_number#). login# correspond au responsable.
non_planned_member (non_planned_activity_number#, login#)
criterion (criterion_name, type, description)
deliverable_maturity (dm_id, deliverable_input_maturity_value, deliverable_output_maturity_value, deliverable_intrinsic_maturity_value)
enabled_maturity (em_id, enabled_input_maturity_value, enabled_output_maturity_value, enabled_intrinsic_maturity_value, enabled_date)

intrinsic_maturity (im_id, criterion_name#, intrinsic_value, target_intrinsic_value, target_date)

intermediary_object (object_name, version, format, file, last_update, next_update, description, origin_to_project, origin, deliverable_date, state, project_name#, dm_id#, em_id#, im_id#)

phase_input_object (phase_number#, object_name#, version#)

phase_output_object (phase_number#, object_name#, version#)

npa_io (npa_io_id, object_name#, version#, next_modification_date, comment, non_planned_activity_number#)

planned_input_ object_maturity (planned_activity_number#, object_name#, version#, criterion_name#, input_value, expected_input_value, expected_date)

planned_output_object_maturity (planned_activity_number#, object_name#, version#, criterion_name#, output_value, target_output_value, target_date)

value (value_name, level_value, color)

enumerated_value (value_name#, criterion_name#)

nomenclature (nomenclature_id, file, object_name#, version#)

representation (representation_id, file, nomenclature_id#, object_name#, version#)

support (support_id, file, nomenclature_id#, object_name#, version#)

parameter (parameter_name, type, object_name#, version#)

characterises (parameter_name#, nomenclature_id#)

appartient_a (parameter_name#, support_id#)

link_deliverable_maturity (dm_id#, amont_phase_number#, aval_phase_number#)

link_enabled_maturity (em_id#, amont_planned_activity_number#, aval_planned_activity_number#)

Annexe 9 Rubriques d'un patron

A.9.1 Rubriques « Interface »

L'interface se compose de cinq rubriques. Ces rubriques servent à la sélection des patrons.

Nom désigne le nom du patron

Classification représente un ensemble de mots clés du domaine (ici les systèmes d'information produit (SIP)).trois types de patrons sont proposés (il peut y avoir plus) : les patrons d'analyse produit, les patrons d'analyse processus et les patrons de conception.

Problème désigne le problème particulier que le patron résout.

Motivation est un exemple ou un scénario d'application du patron décrit de manière textuelle et éventuellement graphique.

Forces qui exprime la pertinence et les raisons pour lesquelles le patron est proposé pour résoudre le problème soulevé. Dans cette rubrique, on explicite aussi les contraintes à considérer afin d'appliquer la solution proposée.

Contexte englobe les pré-conditions pour l'application du patron. Cela peut être exprimé par la description d'un ensemble de modèles issus ou non d'autres patrons.

A.9.2 Rubriques « Réalisation »

La réalisation sert à exprimer la solution offerte par le patron. Deux types de solutions sont distingués : la « solution modèle » et la « solution démarche ».

Solution modèle représente la solution proposée par le patron à l'aide de diagramme UML. Ces diagrammes décrivent, en particulier, les participants au patron et leurs collaborations. Dans le diagramme de classe les contraintes sur les entités du modèle sont exprimées. Un langage pseudo mathématique peut être choisi pour exprimer ces contraintes, c'est le langage OCL[157]. Dans le cas de contraintes complexes, la langue naturelle est préférée.

Solution démarche est la démarche proposée par le patron pour résoudre le problème. Dans le cas de problème complexe, deux techniques sont possible : une technique de décomposition du problème en sous problèmes résolus par d'autres patrons ou un technique de raffinement

[157] Object Contraint Langage.

qui consiste à résoudre un problème plus concret résolu aussi par d'autres patrons. Des diagrammes d'activités UML peuvent être utilisés pour exprimer l'enchaînement des tâches. Une activité peut être un renvoi à un autre patron existant dans le catalogue.

A.9.3 Rubrique « Relations »

Quand la solution démarche fait appel à d'autres patrons pour résoudre le problème traité, les relations sont alors mises en évidence dans la rubrique « relations ». Cela permet de fournir un guide méthodologie modélisant la démarche de développement (solution démarche). Un système ou un catalogue de patrons renvoie à l'idée d'un système d'information est complexe. Les problèmes et les solutions proposées doivent être décomposées en sous problèmes et/ou en sous solutions. Soulignons toute fois que le patron doit être le plus autonome possible par rapport aux autres patrons ; c'est-à-dire qu'il puisse fournir des entités isolables, réutilisables et répondant un problème élémentaire.

A.9.4 Relations entre patrons

Rieu [Rieu 99] définit un ensemble de relations entre les patrons à partir de patrons existants :

- **Alternative** : un patron A est une alternative du patron B si A a le même problème que B mais pose une solution différente.

- **Raffine** : un patron A raffine un autre patron B si le problème posé par A est une spécialisation du problème posé par B. B peut résoudre le problème posé par A. la force et le contexte de A sont enrichis par rapport à ceux de B. on dit alors B « étend » A.

- **Requiert** : un patron A « requiert » un patron B si l'application de B est un pré requis à l'application de A. ainsi la solution modèle du patron B fait partie du contexte du patron A et/ou le patron B apparaît dans le contexte du patron A.

- **Utilise :** un patron A « utilise » un patron B si une partie des problèmes posés par A peut être résolue en partie ou complètement par B. Ainsi dans la solution démarche de A, le patron B est utilisé.

Annexe 10 Présentation de l'atelier AGAP

L'atelier AGAP a deux principales fonctionnalités : la gestion des patrons et le développement à base de patrons. Il est destiné principalement à deux types d'acteurs, qui sont l'ingénieur de patron (Gestionnaire de patron) et l'ingénieur d'application (développeur d'applications). Nous détaillons dans ce qui suit chacune de ces deux fonctionnalités.

1. **Gestion de patrons** : l'atelier permet à l'ingénieur de patrons de définir des formalismes de patrons ainsi que des systèmes de patrons décrits suivant ces formalismes et également d'organiser ces systèmes. Les principales fonctionnalités assurées sont les suivantes: visualiser un patron, visualiser un système de patrons, créer un formalisme, Modifier un formalisme, valider un formalisme, créer un système de patrons, créer un patron, modifier un patron, valider un patron et organiser des patrons.

2. **Développement à base de patrons :** l'atelier permet à l'ingénieur d'application d'appliquer des patrons pour modéliser et concevoir son système d'information. Cette application est appuyée sur un ou plusieurs systèmes de patrons disponibles dans AGAP.

Les principales fonctionnalités sont les suivantes : visualiser un système de patrons, rechercher un patron dans un système de patrons, visualiser un patron, créer une imitation de patron et supprimer une imitation.

Par rapport à l'outillage que nous proposons, les fonctionnalités dans AGAP qui nous semblent intéressantes sont : la création de systèmes de patrons (en l'occurrence le catalogue de patrons SIP que nous avons proposé), la création de patrons (les divers patrons développés dans le catalogue proposé et éventuellement de nouveaux patrons à développer) et l'imitation de patrons. Les deux premières fonctionnalités sont utilisées une seule fois pour déclarer les patrons dans l'atelier. La dernière fonctionnalité est plus récurrente; elle est utilisée à chaque nouveau projet de spécification d'un SIP.

Il est à souligner que dans le Méta-modèle de AGAP, le patron est modélisé en tant que classe. A chaque patron, est associé un certain nombre de classes représentant les diverses rubriques du patron. Chaque rubrique est composée d'un ou de plusieurs champs (de type quelconque). Ainsi, les rubriques du patron sont imitables ou non selon le type des champs. A

titre d'exemple, le diagramme UML dans la rubrique Solution-modèle peut être instancié alors que le diagramme UML dans la motivation ne peut être instancié.

Par ailleurs, les manipulations sur les patrons (créer, supprimer, etc.) sont des opérations sur la classe du patron.

De la description du scénario associé à l'imitation de patrons (cf. Tableau 7.2), un passage d'AGAP à un AGL supportant le langage UML est nécessaire pour construire les diagrammes UML imitant la solution-modèle du patron (qui est exprimée à l'aide de champ de type UML). Dans le cas présent, il s'agit de l'atelier Rational/Rose. La solution-modèle d'un patron à imiter est alors transférée à Rational/Rose sous forme de fichier XMI. C'est dans Rational\Rose que les diagrammes UML représentants l'imitation de la solution du patron sont construits selon le scénario d'imitation décrit dans le Tableau 7.2 (tâche 6.). Les diagrammes ainsi obtenus dans Rose peuvent ensuite être exportés sous forme de fichiers SQL, XML, Java ou autre pour les intégrer dans un SGDT utilisant l'un de ces formats de fichier.

Annexe 11 : Catalogue de Patrons du SGII (Système de Gestion des Informations Immatures)

A.11.1. Patrons utilisés dans le patron « points de variabilité »

A.11.1.1 Patron d'analyse : « niveaux de produit »

Patron : **Niveaux de Produit** **Formalisme :** ***Formalisme P-SGII***

Identifiant

Niveaux de Produit

Nom

Niveaux de Produit

Contexte

Ce patron ne nécessite aucun autre patron pour être appliqué.

Probleme

Il y a 3 niveaux de produit possibles dans un système d'information produit (produit physique, type-produit et produit générique). Ce patron permet d'identifier le nombre de niveaux (et par conséquent les niveaux de produit) et propose une solution pour les représenter.

Force

Ce patron permet de distinguer les divers niveaux d'abstraction du produit et de construire le modèle correspondant. Il ne permet pas toutefois de considérer plus que trois niveaux de produit.

ExplicationDemarche

Pour identifier les niveaux du produit à considérer, il faut répondre aux questions:

- Le système d'information produit gère-t-il des exemplaires physiques? Cas A : Oui. les niveaux type-produit et produit physique sont gérés. Cas B : Seul le niveau Type-produit est géré.
- Le type-produit fait-il partie d'une ligne de produit ? Si oui, les produits génériques sont-ils gérés dans le système d'information produit? Cas C : Oui. les niveaux type-produit et produit générique existent et les lignes de produit sont gérées. Cas D : Oui. les niveaux type-produit et produit générique existent mais les lignes de produit ne sont pas gérées. Cas E : Non. Seul le niveau type-produit est géré.

1. Si cas A et C alors trois niveaux de produit sont gérés dans le système d'information produit. Appliquer le patron "Trois Niveaux".
2. Si cas A et D ou A et E alors deux niveaux de produit sont gérés (type-produit et exemplaire physique). Appliquer patron "Deux niveaux".
3. Si B et C alors deux niveaux sont gérés (type et générique). Appliquer le patron "Deux Niveaux".
4. Si B et D ou B et E alors un seul niveau est géré (type). Une classe "Type-produit" qui contient toutes les propriétés du type-produit est créée. Chaque produit particulier est une instance de cette classe.

diagActivitesDemarche

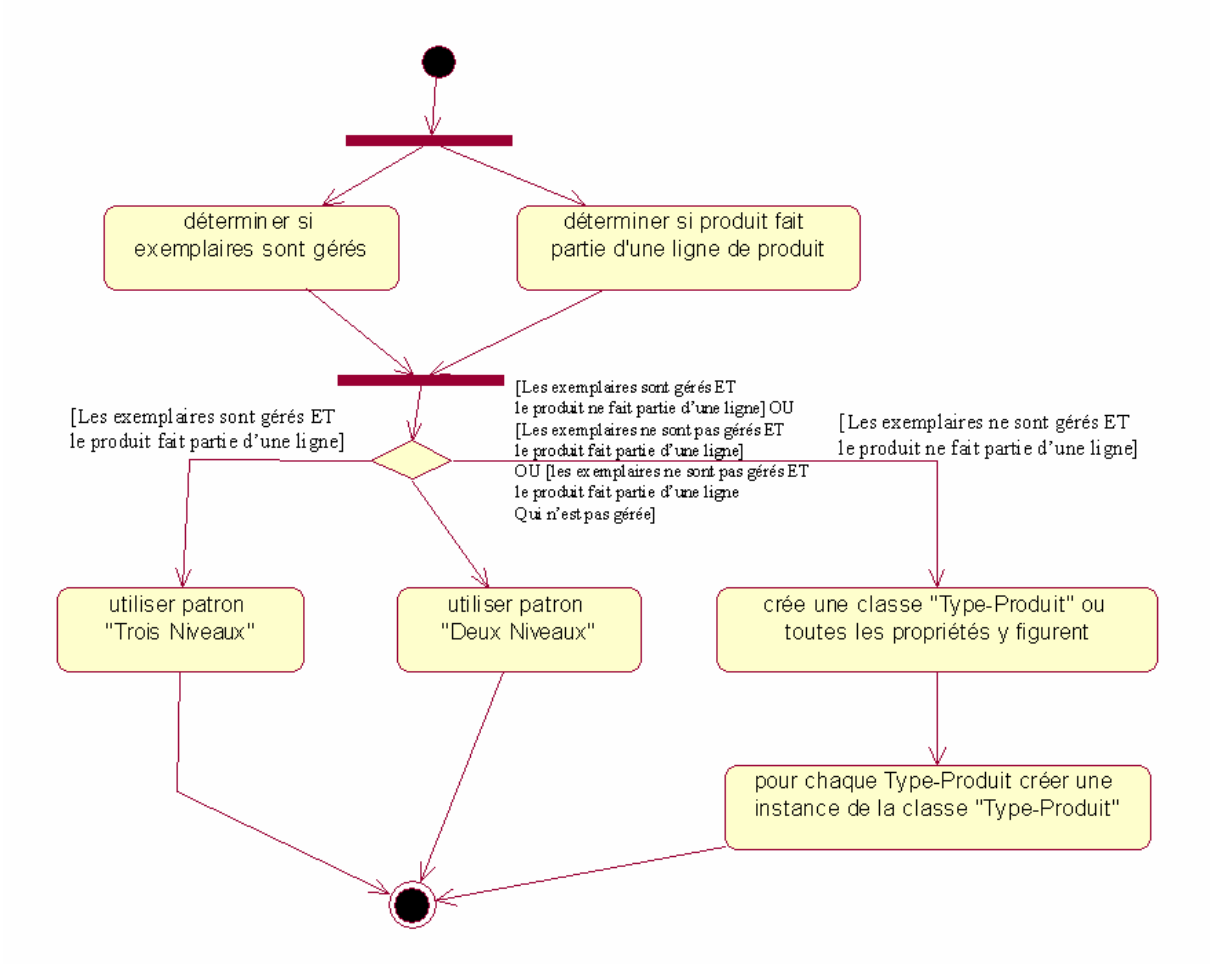


Figure 1 Démarche pour la définition des niveaux de produit dans l'entreprise

ExplicationModele

Le modèle obtenu est un diagramme de classe avec une, deux ou trois classes représentant les niveaux de produit considérés.

Application

le produit "Centrale hydraulique" prend différents aspects: le produit physique (la centrale hydraulique type-K) qui correspond au produit livré au client, le type-produit (le modèle théorique selon lequel l'exemplaire est réalisé, tel que centrale hydraulique type-K) et le produit générique (un modèle théorique à partir duquel plusieurs options et variantes sont possibles, tel que: centrale hydraulique).

Niveau de produit	Produit générique	Type-produit	Exemplaire Produit
Caractéristiques	Nom : centrale hydraulique Turbine : Kaplan ou Bulbe. Puissance: [21KW, 24 KW]	Nom: centrale Hydraulique-type K. Turbine= Kaplan. Rendement: 0.85 Puissance 24KW Transformateur: 5000 voltes Génératrice : asynchrone Nombre de turbine:1	Nom : la microcentrale hydraulique-type K Turbine: Kaplan Rendement: 0.85 Puissance: 24KW Génératrice: asynchrone Nombre de turbine : 1 Dimensions génie civil: 150m (largeur), 400M longueur et 200 m (hauteur)

Figure 2 exemples de niveaux de produit

Utilise

{Deux Niveaux de Produit, Trois Niveaux de Produit}

A.11.2 Patrons utilisés dans le patron « Définir un processus de développement de produit »

A.11.2.1 Patron « Décomposer le processus de développement de produit »

Patron : Décomposer le processus de développement de produit **Formalisme : *Formalisme P-SGII***

Nom

Décomposer le processus de développement de produit

Domaine

Processus, analyse des besoins

Classification

Patron processus.

Contexte

Ce patron ne nécessite l'application d'aucun autre patron ou modèle pour être appliqué.

Probleme

Décomposer le "processus de développement de produit" en sous processus, phases et activités.

Force

L'application de ce patron permet aux chefs de projet de décomposer le processus de développement de

produit en suivant une démarche générique, basée sur un ensemble de critères de décomposition dépendants des spécificités de l'entreprise.

ExplicationDemarche

1. Choisir un critère de décomposition. Nous proposons trois critères :

    1. *le raffinement des objectifs*. Quand l'objectif du processus est très général, il doit être affiné afin de permettre sa décomposition.

    2. *le changement d'état du produit*. Ce critère est appliqué sur les deux niveaux supérieurs, c'est-à-dire : le niveau processus et le niveau phase. ce critère consiste à décomposer le processus en sous processus ou en phase, quand l'état du produit attendu change (concept produit, géométrie du produit, etc.).

    3. *le changement de problèmes* résolus individuellement (par métier). Ce critère est pertinent pour la décomposition d'une phase en activités. ce critère consiste à décomposer une phase en activités quand le problème à résoudre change.

    4. *le changement d'acteurs ou de rôles d'acteur*. C'est un bon indicateur de passage d'une activité à une autre (d'une phase à une autre, etc.) surtout lorsque c'est le responsable qui change.

    5. *les points de décisions* : Quand un jalon de décision « fort » correspond à des points de gel où des retours en arrière implique des conséquences importantes (délai et coûts importants). Cependant, un jalon de décision « faible » correspond à un

    Cela correspond à une décomposition du premier niveau. Cependant, quand un point de décision "soft" se présente, cela correspond à une décomposition de deuxième (en phase) ou de troisième niveau (en activité).

2. Décomposer le processus en fonction des critères choisis.

    1. Quand l'objectif du processus est assez général, il est nécessaire de l'affiner en le décomposant en sous objectifs. Ces derniers sont associés à différents sous processus ou phases. L'identification de sous processus, de phases ou des activités, signifie qu'une identification des objectifs et des points de décisions a été faite au préalable. Un point de décision dans le processus représente un jalon. Si ce point de décision représente des points de non retours dans le processus, cela correspond à un jalon "dur". Dans ce cas la décomposition associée correspond au premier niveau de décomposition (en sous processus). Cependant, si le point de décision représente un point de retour possible, cela correspond à un jalon "souple". La décomposition associée correspond au troisième niveau de décomposition (en activité).

    2. Une deuxième façon de décomposer le processus est effectuée selon le changement d'acteur ou de rôle d'acteur. Par changement d'acteur, nous entendons un changement d'un acteur par un autre ou le changement du rôle d'un même acteur. Ce critère est utilisé pour tous les niveaux de décomposition.

    3. Pour différencier entre deux activités du processus (appartenant à une phase), il faut identifier deux sous ensembles de problèmes, chacun résolu par un acteur.

    4. Le dernier critère utilisé peut être l'état du produit (produit générique, type produit ou produit physique). Ce dernier est utilisé pour différencier deux phases ou deux sous-processus. C'est-à-dire que si l'état d'un produit change, cela veut dire que le passage à la prochaine phase ou au prochain sous-processus est nécessaire. Ce critère n'est cependant pas utilisé pour la décomposition d'une phase en activité.

    5. Repérer les activités non terminales. une activité terminale dans le diagramme d'activité représente une activité dans le processus qui ne peut plus être décomposée. Les activités

non terminales :

- ont un objectif général et peut être décomposées,
- n'ont pas qu'un seul responsable, ceci est un signe que ces activités doivent être décomposées encore.

3. Règles de décomposition. En décomposant un processus :

4. les liens qui rentrent dans le diagramme d'activité de niveau supérieur pointeront sur la première activité du diagramme d'activités inférieur.

5. les liens qui sortent du diagramme d'activité de niveau supérieur partiront de l'activité (ou des activités) du diagramme d'activités inférieur, dont ces liens sortent.

6. les liens de retour en arrière (ou itérations) qui rebouclent sur une activité dans le diagramme d'activités supérieur représente des itérations entre activités du diagramme d'activités inférieur ayant des points de décision et dont certains donnent lieu à des retours en arrière.

ExplicationModele

A l'application de ce patron, le chef de projet obtient une décomposition de son processus en spécifiant les trois niveaux : processus, phase et activité ainsi que les liens se trouvant entre ces derniers.

ExplicationCasApplication

Prenons comme exemple le processus de développement d'un produit hydraulique du Centre d'Ingénierie Hydraulique rattaché à l'entreprise EDF. Un tel processus peut être décomposé en plusieurs niveaux (sous processus, phase, et activité planifiée) afin de mieux cerner les actions nécessaires, les réaliser et mieux définir les responsabilités de chaque acteur du projet. Plusieurs critères de décomposition sont pris en compte, tels que : le changement d'objectif, le changement d'état du produit et le changement d'acteurs (rôles). Ainsi le processus du CIH peut être décomposé de la manière suivante :

1. Dans un premier temps, il s'agit de décomposer le processus selon le critère objectifs en décomposant l'objectif global (définir le produit hydraulique) en sous objectifs. Ainsi on obtient les sous-processus suivants :
    1. Processus « réponse aux appels d'offre » qui représente toutes les activités depuis la prospection commerciale des affaires jusqu'à la signature du contrat avec le client. Ce sous-processus est sous la responsabilité du binôme (commercial/Responsable Technique d'Offre (RTO)). Il s'agit de produire un contrat avec le client.
    2. Processus d'études : une fois le contrat signé avec le client, il s'agit de mener des études d'analyse et de développement du produit. Ce sous-processus est sous la responsabilité du chef de projet préalablement défini. Un dossier d'étude d'analyse et de développement résulte de ce sous-processus.
    3. Processus de réalisation : une fois le développement du produit finalisé, il s'agit de le réaliser. Ce sous processus est sous la responsabilité du chef de chantier. A la fin de ce sous-processus, le produit physique est réalisé et un dossier de réalisation est effectué.
2. Les sous processus peuvent être décomposés à leurs tours en phases par affinements de leurs objectifs. La différence majeure entre le niveau de décomposition processus et le niveau phase est que deux processus peuvent être séparés par un jalon "dur" alors que deux phases du même processus sont séparées par des jalons "souple". La similarité entre les deux niveaux processus et phase est qu'ils représentent des décomposition selon différents états du produit (par exemple: un processus d'étude est décomposé en les phases : faisabilité, avant projet sommaire et avant projet détaillé, selon les états du produit : produit générique, produit type et produit physique, respectivement.

3. La décomposition du processus peut être poursuivie en gardant les mêmes critères de décomposition, tel que l'affinement des objectifs et le changement d'acteur ou de rôles d'acteurs. La différence majeure entre le niveau phase et le niveau activité est que le premier correspond à une décomposition selon les états du produit alors que le deuxième correspond à une décomposition selon le changement de problèmes résolus individuellement (par métier). Ainsi, la phase "Faisabilité" peut être décomposée en les activités : études hydrologique, calcul du profil hydraulique, représentation des ouvrages hydroélectrique, etc. Les itérations représentées dans le niveau phase, sont également représentées dans le niveau inférieur (niveau activité) par des itérations entre deux activités de la même phase par des itérations entre deux activités de deux phases différentes.

A.11.2.2 Patron « Renseigner le processus de développement de produit »

Patron : **Renseigner le processus de développement de produit** **Formalisme :** ***Formalisme P-SGII***

Nom

Renseigner le processus de développement de produit

Domaine

Processus, analyse des besoins, modélisation

Classification

Patron processus.

Contexte

Ce patron nécessite l'application du patron « Décomposer un processus de développement de produit » pour être appliqué.

Probleme

Renseigner les différents composant du processus de développement de produit.

Force

L'application de ce patron guide un chef de projet pour l'affectation des ressources (acteurs et objets entrant/sortant) nécessaires aux différents composants du processus de développement de produit selon les spécificités de l'entreprise.

ExplicationDemarche

1. Affecter à l'activité (dans le diagramme d'activités), si possible un initiateur, des contributeurs et un responsable. Le chef de projet est responsable des phases et du processus.

2. nommer l'activité (dans le diagramme d'activités). Les noms des phases et des sous processus sont attribués par le chef de projet alors que les noms des activités sont attribués par leurs responsables.

3. Affecter à l'activité (dans le diagramme d'activités), les objets entrants/sortants quand ils existent. Ces objets sont ceux identifiés dans le modèle d'analyse produit obtenu par l'application du patron d'analyse "Identifier les points de variabilité".

4. Affecter à chaque objet identifié un producteur, éventuellement un émetteur et des utilisateurs.

5. Déterminer le type de succession entre deux activités (du diagramme d'activités) : ET/OU.

6. Déterminer le type de transition entre les activités (du diagramme d'activités) : s'agit-il d'une poursuite, d'un abondant du processus ou d'une itération de retour en arrière entre activités ?

7. Déterminer les conditions de succession sur les transitions, qui sont en général en nombre de trois :

accord, refus et réexamen.

ExplicationModele

L'application de ce patron permet au chef de projet d'affecter les ressources nécessaires aux composants du processus de développement de produit.

Requiert

{Décomposer le processus de développement de produit}

A.11.2.3 Patron « Modéliser le processus de développement de produit »

Patron : Modéliser le processus de développement de produit **Formalisme : *Formalisme P-SGII***

Nom
Modéliser le processus de développement de produit

Domaine
Processus, analyse des besoins, modélisation

Classification
Patron processus.

Contexte
Ce patron nécessite l'application du patron « Renseigner le processus de développement de produit » pour être appliqué.

Probleme
Ce patron permet au concepteur du SGII de modéliser sous forme de diagrammes d'activités.

Force
L'application de ce patron guide le concepteur du SGII dans la modélisation des différents composants du processus de développement de produit.

ExplicationDemarche

Une fois les renseignements ci-dessus remplis, le concepteur peut procéder à la modélisation du processus sous forme de diagrammes d'activité. Pour ce faire, il doit représenter les entités UML : activité, transition, ressource et objet entrant/sortant aux activités, suivant les étapes suivantes :

1. Un processus est décomposé en sous processus (composites ou élémentaires). Un processus élémentaire est décomposé en phases et en jalons. Une phase est décomposée en activités.
2. Tout processus, phase, ou activité du processus de développement de produit est représentée par une activité UML. Cette dernière est nommée (selon le nom que le chef de projet lui a attribué) et doit être stéréotypée selon sa nature : *processus, phase, ou activité* (figures : 2, 3 et 4).

1. tout jalon de décision est représenté par une décision UML. Un jalon de décision séparant deux processus ou deux phases correspond à un jalon de décision « dur ». Cependant, un jalon de décision déparant deux activités correspond à un jalon de décision « souple ».
2. Représenter les ressources associées aux activités. Ces ressources sont les différents acteurs dans les diagrammes d'activités UML, stéréotypé selon leurs rôles dans le processus : *responsable du processus* (chef de projet) (figure2), *responsable d'une phase* (chef de projet) (figure 3), *responsable d'une activité (ou contributeur)* (figure 4).
3. Une succession entre deux activités de type ET avec plusieurs successeurs et synchronisation entre flots de contrôle, utiliser une barre de synchronisation UML. Cependant, une succession de type OU est représentée par un stéréotype de transitions exclusives. Représenter les conditions sur les transitions exclusives.
4. Le processus a un seul état initial qui marque le début du processus et qui est représenté dans le diagramme d'activité du niveau processus. Cependant, le processus peut avoir plusieurs états finaux qui correspondent à des conditions de fin différentes du processus ou d'une phase de ce dernier. Chaque diagramme d'activité, d'un niveau donné, est marqué par un état final qui représente sa fin. Le début d'un diagramme d'activité de niveau phase ou activité est déclenché par un état qui

garde en mémoire l'état précédent du processus qui correspond soit à celui quitté suite à une itération de retour en arrière ou à une suspension du processus, soit à aucun état initial. Dans le cas de reprise des activités, la transition pointe sur l'activité quittée précédemment, sinon, elle pointe sur la première activité du diagramme.

5. La succession entre deux activités est représentée par une transition UML, stéréotypée en fonction de sa nature (*poursuite, abandon ou itération)* selon les indications par le chef de projet. Ce qui est également le cas pour les conditions de succession sur les transitions (*accord, refus et réexamen*) (figures : 2, 3 et 4).
6. Associer à chaque activité du diagramme d'activités, des objets entrant et des objets sortant. Cela en fonction de l'affectation des objets entrant/sortant faite par le chef de projet. Chaque objet échangé entre deux activités est stéréotypé par le stéréotype « *objet intermédiaire* » (figures : 2, 3 et 4). Chaque objet intermédiaire doit avoir un état qui permet sa transmission d'une activité du diagramme à une autre. Ainsi pour les objets transmis entre sous processus (figure2) et entre phases (figure 3) doit être en état de *livrable* et pour un objet intermédiaire transmis entre activité (du processus de développement) doit être en état de *trace habilitée* (figure 4).
7. représenter les liens de dépendance entre les activités à travers les flots d'objets. Pour ce faire appliquer le patron « Représenter les dépendances ».

ExplicationModele

L'application de ce patron permet au concepteur du système de modéliser la décomposition du processus en différents diagrammes d'activité. Ces diagrammes d'activité représentent des instanciations du méta modèle ci-dessous. Ce dernier permet de fixer le vocabulaire permettant de stéréotyper les diagrammes d'activité.

MétaModèle

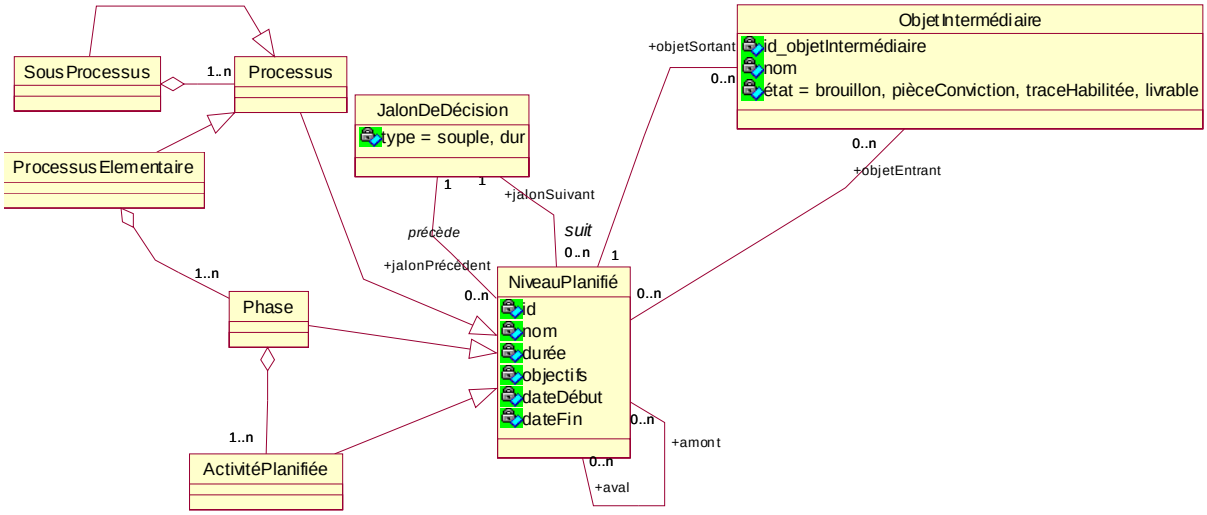


Figure 1 méta modèle représentant la composition du processus.

ModèleCasApplication

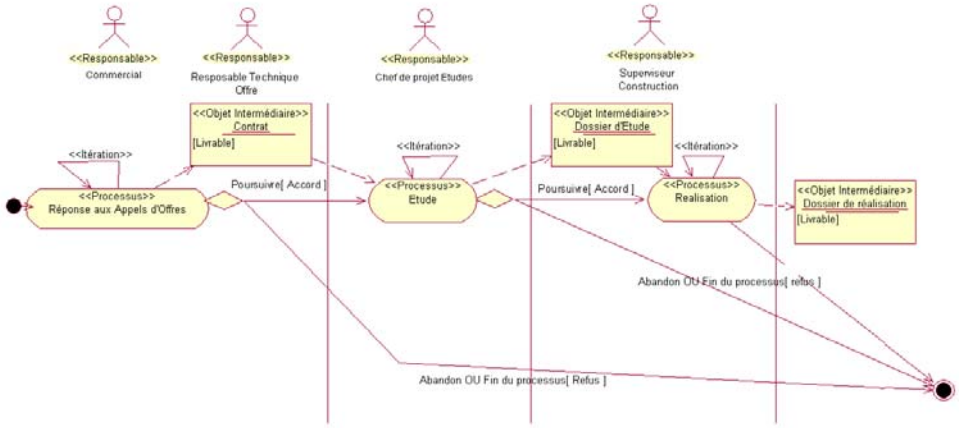


Figure 2 Modélisation du niveau processus (au CIH)

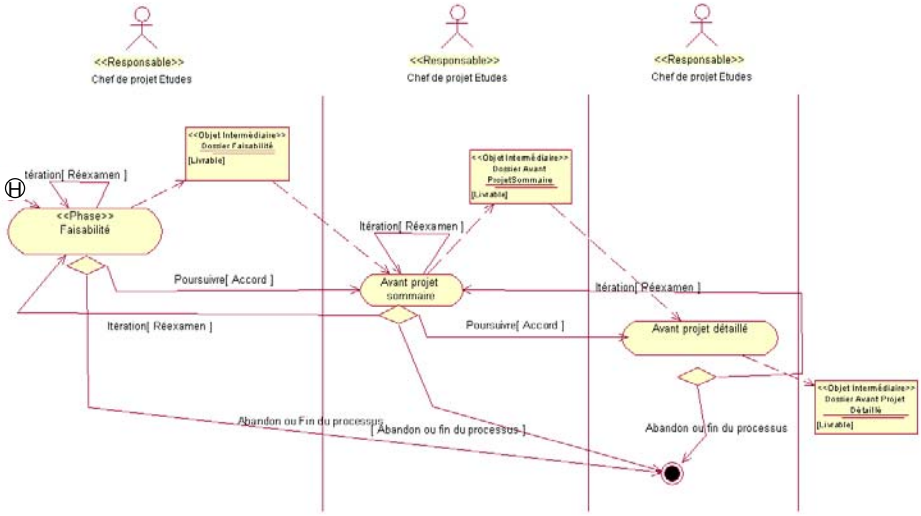


Figure 3 Modélisation du niveau phase (au CIH)

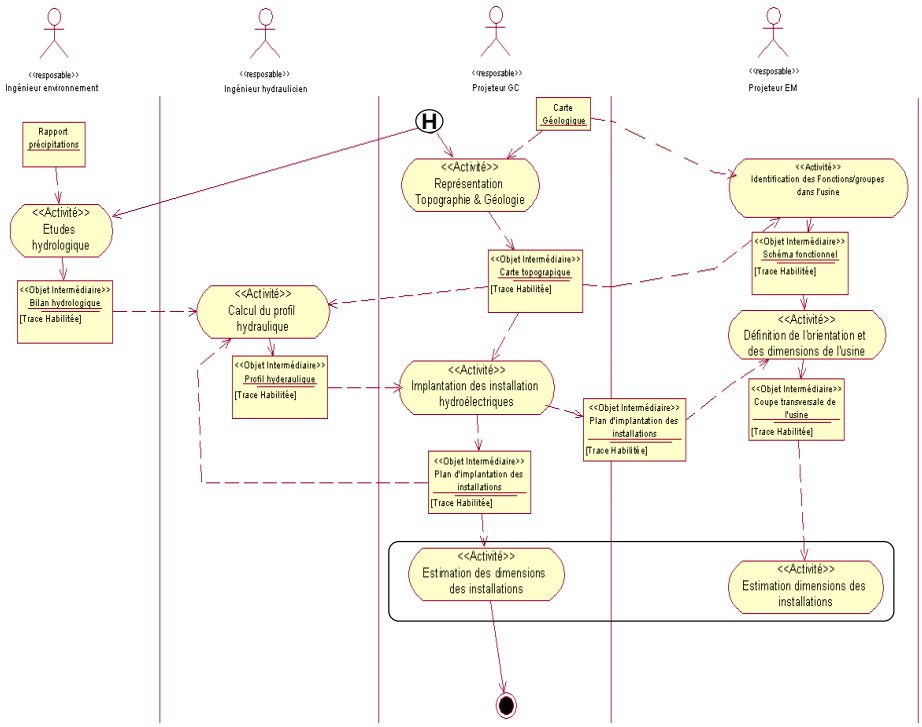


Figure 4 Modélisation du niveau activité (au CIH)

Utilise

{Représenter les dépendances}

Requiert

{Renseigner le processus de développement de produit}

A.11.2.4 Patron « Exprimer les dépendances »

Patron : **Exprimer les dépendances** ***Formalisme : Formalisme P-SGII***

Nom

Exprimer les dépendances

Domaine

Processus, analyse des besoins

Classification

Patron Processus

Contexte

Ce patron nécessite l'application du patron " Renseigner le processus de développement de produit" pour être appliqué.

Probleme

Identification des liens de dépendance entre les activités. Ce qui revient à identifier les liens de dépendance entre les objets entrants/sortants aux activités du processus.

Force

Ce patron guide le concepteur (en collaboration avec l'expert de l'entreprise) à identifier les attributs de dépendance ainsi que les types de dépendance pouvant exister entre les objets dans le processus. Cela permet de tisser le réseau de dépendance des objets qui est fort utile pour la gestion du processus (gestion de la diffusion des informations, gestion des modifications, etc.)

ExplicationDemarche

1. Identifier les attributs de dépendance: "*à la Création*" et *"à la variation"*.

   1. l'attribut *à la création* caractérise un lien de dépendance entre deux objets telle que la définition de l'un des objets est contrainte par la définition de l'autre objet. Ce qui veut dire que :

      - j'utilise un autre objet pour décider des actions à effectuer sur l'objet considéré OU

      - j'utilise un autre objet pour estimer toute ou partie l'objet considéré OU

      - j'utilise un autre objet comme partie intégrante de l'objet considéré.

   2. l'attribut *à la variation* caractérise un lien de dépendance entre deux objets telle que la variation de l'un objet est impactée par la variation d'un autre objet ou la variation d'un objet implique la variation d'un autre objet. Ce qui veut dire que la modification d'un objet :

      - est possible (objet modifiable) ET

      - est (significativement) induite par la modification d'un autre objet OU

      - induit une modification significative sur un autre objet.

2. Associer des valeurs aux attributs

   1. Associer à l'attribut à la création la valeur attendue de la complétude, Pour définir la valeur de la complétude, appliquer le patron « Définir les critères de maturité ».

   2. Associer à l'attribut à la variation les valeurs attendues des maturités entrant et sortant. Pour définir ces deux valeurs (input et output), appliquer le patron "Définir les critères de maturité".

3. Associer 3 types de dépendance au lien entre deux objets : dépendance simple, dépendance couplée et interdépendance. Associer à chaque type de dépendance, les deux valeurs des critères : à la création et à la variation.

ExplicationModele

L'application de ce patron permet d'identifier les différents attributs de dépendance, et d'associer à chaque lien de dépendance, entre deux objets, un type de dépendance (dépendance simple, dépendance couplée et interdépendance). Cela est représenté sous forme de modèle de classe UML. Ce dernier représente une instanciation du méta modèle représenté dans la figure 1 ci-dessus.

MétaModèleModèle

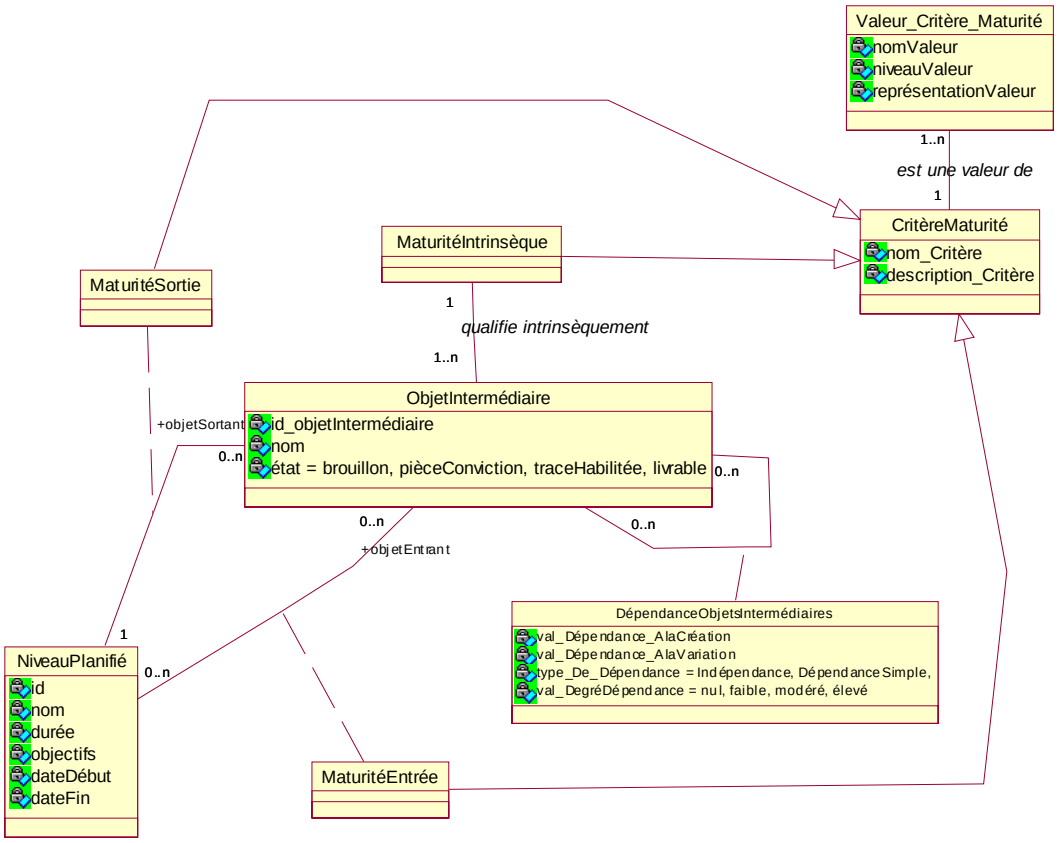


Figure 1 Méta modèle UML représentant les dépendances entre objets

ExplicationCasApplication

Prenons l'exemple du processus de définition de produit hydraulique. L'organisation de ce processus doit être de manière à éviter au maximum les risques d'itérations (retours en arrière). Une telle organisation requiert une identification des types de liens reliant les activités dans le processus, autrement dit; le type de liens entre les objets entrants/sortants dans le processus.

Utilise

{Définir les critères de maturité}

Requiert

{Renseigner le processus de développement de produit}

A.11.2.5 Patron « Modéliser les dépendances »

Patron : **Modéliser les dépendances** ***Formalisme :*** ***Formalisme P-SGII***

Nom

Modéliser les dépendances

Domaine

Processus, Modélisation

Classification

Patron Processus.

Contexte

Ce patron nécessite l'application du patron "Exprimer les dépendances" pour être appliqué.

Probleme

Représenter les types de liens de dépendance entre les activités du processus de développement de produit.

Force

Ce patron guide les concepteurs d'un système de gestion d'information, pour identifier et modéliser les différents types de dépendance entre les activités du processus de développement associées. Cela permet de tisser le réseau de dépendance des activités (ou objets) qui est fort utile pour la gestion du processus (gestion de la diffusion des informations, gestion des modifications, etc.)

ExplicationDemarche

- Si deux objets intermédiaires 1 et 2 produits par deux activités A et B sont liés par une *dépendance simple* (figure 1), représenter un lien de flot de données (UML) entre l'activité A et son objet sortant objet 1, et un lien de flot de données entre l'objet 1 et l'activité en aval (activité B) et enfin un lien de flot de données entre l'activité aval (activité B) et l'objet 2 sortant (objet 2).

- Si deux objets intermédiaire 1 et 2 produits par deux activités A et B sont liés par une *dépendance couplée* (figure 2). représenter le lien de flot de données entre l'activité en amont (activité A) et l'objet 1, un lien de flot de données entre l'objet 1 et l'activité en aval (activité B), ensuite un lien de flot de données entre l'activité en aval (activité B) et l'objet 2 et enfin un lien de flot de données entre l'objet 2 et l'activité en amont (activité A).

- Si deux objets intermédiaires 1 et 2 produits par deux activités A et B sont liés par une *interdépendance* (figure 3), les liens flot de données implicites et ne sont pas représentés dans le diagramme d'activité. En effet, il s'agit de désigner toutes les activités impliquées dans la dépendance par un seul nom identique (activité A, par exemple) et les entourer par une super activité. Une différenciation réside dans la représentation des objets en entrée/en sortie des activités impliquées dans la dépendance:

1. l'objet est en sortie de l'une des activité (figure 3a, 3b), cela veut dire que la production ou la fourniture de cet objet est sous la responsabilité de l'acteur (du couloir dans lequel se trouve l'activité) et répond à ses objectifs.
2. l'objet est en sortie de la super activité (figure 3c), cela veut dire que la responsabilité sur la production de l'objet en sortie n'a pas pu être imputée à l'un des acteurs responsables des activités impliquées dans la dépendance, ou que la production de l'objet représente un objet commun entre les activités impliquées dans la dépendance. Tenir le même raisonnement pour la représentation des objets en entrée des activités interdépendantes.

ExplicationModele

L'application de ce patron donne une représentation des différents types de dépendance: dépendance simple, dépendance couplée et interdépendance sous forme de diagramme d'activités UML.

DiagActivitésModele

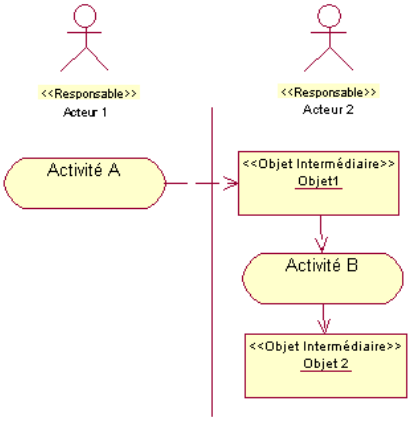


Figure 1 Dépendance

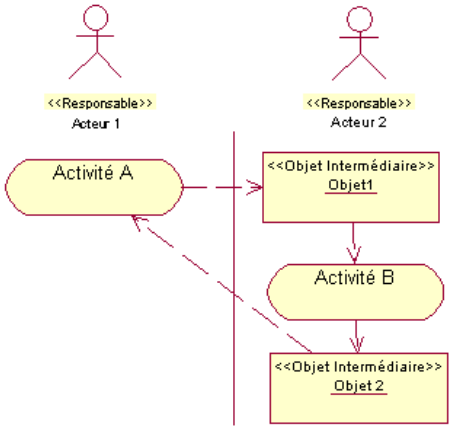


Figure 2 Dépendance couplée

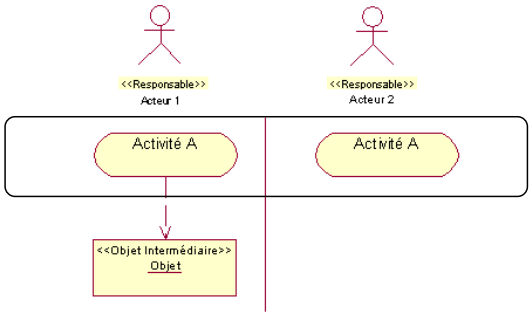


Figure 3 a

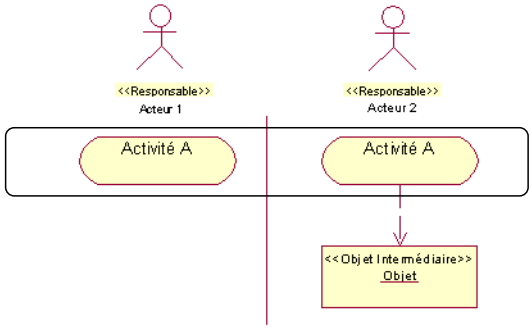


Figure 3b

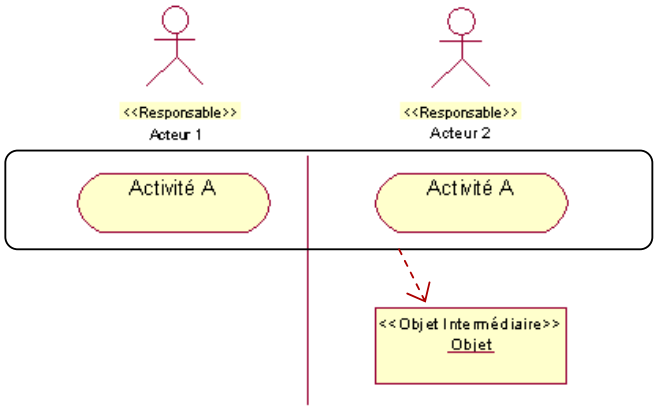


Figure 3c

Figure 3 Interdépendance

ExplicationCasApplication

Prenons l'exemple du processus de définition de produit hydraulique. L'organisation de ce processus doit

être de manière à éviter au maximum les risques d'itérations (retours en arrière). Une telle organisation requiert une identification des types de dépendance reliant les activités dans le processus, autrement dit; des types de dépendance reliant les objets entrants/sortants dans le processus.

Requiert

{Exprimer les dépendances}

A.11.2.4 Patron « Définir le cycle de vie d'une activité »

Patron : **Définir le cycle de vie d'une activité** **Formalisme :** ***Formalisme P-SGII***

Nom

Définir le cycle de vie d'une activité

Domaine

Processus, modélisation

Contexte

Ce patron exige l'application du patron "Exprimer les dépendances" pour être appliqué.

Probleme

Définir les différents états et transitions par lesquels une activité passe pendant le déroulement du processus de développement.

Force

Ce patron permet aux concepteurs du système de gestion de configurer les transitions entre les différents états d'une activité du processus. Cela permet l'élaboration d'un workflow pour le contrôle du bon déroulement du processus de définition de produit.

ExplicationDemarche

Le cycle de vie d'une activité dépend d'abord des types de dépendance (de flot de données) que cette activité a avec les activités dont elle dépend (en amont et en aval). Deux cas de figure se présentent : le cas de dépendance simple et le cas de dépendance couplée. Le cas d'interdépendance n'est pas traité car le flux d'information, dans ce cas, est implicite. Le dernier cas peut se déduire facilement à partir de la présente démarche.

1. Fixer les différents états d'un objet entrant/sortant d'une activité du processus de définition de produit. Six états sont définis pour un objet intermédiaire : brouillon, pièce à conviction, attendue, cible, trace habilitée et livrable (figure 1) :
    1. *Etat brouillon* se réfère à l'état de l'objet qui est en création (modalité de création). Cet état de maturité est défini par un acteur producteur isolément et correspond aux valeurs de "maturité intrinsèque" et de "maturité output" de l'objet. Ces dernières sont de telle sorte que le producteur ne peut s'engager sur la qualité de l'objet pour le diffuser.
    2. *Etat pièce à* conviction se réfère à l'état de l'objet qui est défini par l'acteur producteur. Cet état correspond aux valeurs de "maturité intrinsèque" et de "maturité output" pour lesquelles le producteur s'engage sur la qualité de l'objet dans des réseaux personnels (restreints). L'objet dans ce cas, n'est pas encore prêt à être utilisé par les utilisateurs.
    3. *Etat cible* se réfère à l'état d'un objet dont les valeurs de "maturité output" et de "maturité intrinsèque" sur lesquelles l'acteur producteur de l'activité s'engage à fournir à la fin de l'activité. Cet état de l'objet correspond aux objectifs de l'activité.
    4. *Etat attendue* se réfère à l'état de l'objet attendu par son utilisateur. Cet état correspond aux valeurs de la "maturité Input" de la "complétude" de l'objet entrant nécessaire pour l'exécution de l'activité sans risque important d'itération.
    5. *Etat livrable* se réfère à un objet sur lequel une modalité de vérification et de validation

(par la hiérarchie) a été appliquée. Cet état de l'objet correspond aux valeurs de la "maturité output" et de "maturité intrinsèque" de l'objet sur lesquelles le chef de projet peut s'engager à fournir à sa hiérarchie et au client. Cet état de l'objet correspond aux objectifs du processus (ou sous processus)

6. *Etat trace habilitée* se réfère à l'état de l'objet sur lequel le producteur (ou le fournisseur) de l'objet et son utilisateur se sont mis d'accord sur les valeurs des maturité: input, output et complétude de l'objet pour que ce dernier puisse être diffusé et utilisé par les acteurs utilisateurs. Cet état correspond à un compromis entre "l'état de maturité cible" et "l'état de maturité attendu".

2. Fixer les différents états d'une activité du processus en fonction des états des objets entrant/sortant de cette dernière. Neuf états sont définis (figure 2) :

   1. *Etat initial* caractérise les activités à l'instanciation du processus. Une fois planifiées, elles sont identifiées et validées par le chef de projet.

   2. *Etat exécutable avec risque* caractérise une activité dont tous les objets en entrée ont atteint leurs états attendus. Ces derniers sont alors mis dans une "vitrine" où leurs utilisateurs peuvent seulement les voir sans les lire.

   3. *Etat exécutable sans risque* est atteint par une activité quand tous les objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité cibles"

   4. *Etat exécuté avec risque* correspond à une activité dont tous les objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité traces habilitées".

   5. *Etat exécuté sans risque* est atteint par une activité dont tous les objets en entrée ont atteint leurs "états cibles".

   6. *Etat en attente de terminaison* est atteint par une activité dont tous les objets en entrée sont dans des états cibles et au moins un objet en sortie n'a pas encore atteint son "état cible". Cet état se présente dans les cas de dépendance couplée où les objets en entrée dépendent des objets en sortie de l'activité considérée.

   7. *Etat suspendu* est un état décidé par le responsable de l'activité en cas de problème. Par exemple : une activité en état exécuté avec risque passe à l'état suspendu si les objets en entrée n'ont pas encore atteint "leurs états cibles" alors que la date de fin de l'activité approche.

   8. *Etat abandonné* est un état irréversible qui est décidé par le responsable de l'activité.

   9. *Etat terminé* est atteint par une activité dont tous les objets en sortie ont atteint "leurs états de maturité cibles" et tous les objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité cibles".

3. Identifier les conditions de garde sur les transitions d'une activité d'un état à un autre (figure 2) :

   1. *: Initial-Exécutable avec risque* est une transition à partir d'une activité en "état initial" dont tous ses objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité attendus" et toutes ses activités amont sont en "état exécuté avec risque" ou en "état terminé". Cette transition est déclenchée automatiquement par un événement « mise en vitrine ».

   2. : *Exécutable avec risque-Exécuté avec risque* est une transition à partir d'une activité en "état exécutable avec risque" et dont tous ses objets en entrée ont atteint au moins "leurs états de maturité traces habilitées" et toutes ses activités amont sont soit dans leurs "états exécutés" (avec ou sans risque) soit, ils sont dans leurs "états terminés".

   3. : *Exécutable avec risque-Exécutable sans risque* est une transition à partir d'une activité en "état exécutable avec risque" et dont tous ses objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité cibles" et toutes ses activités amont sont en "état exécuté sans risque".

4. : *Exécuté avec risque-Exécutable sans risque* est une transition à partir d'une activité en "état exécuté avec risque" et dont tous ses objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité cibles" et toutes ses activités amont sont en "état exécuté sans risque".
5. : *Exécuté avec risque-Exécuté sans risque* est une transition à partir d'une activité en état "exécuté avec risque" et dont tous ses objets en entrée ont atteint leurs "états de maturité cibles" et toutes ses activités amont sont dans leurs "états terminés".
6. : *Exécutable sans risque-Exécuté sans risque* est une transition à partir d'une activité en "état exécutable sans risque" sur laquelle toutes les conditions de la transition (5) sont vérifiées et dont l'état d'exécution a été déclenché par un événement « exécute » lancé soit par le responsable de l'activité soit par le système.
7. : Deux cas de figure peuvent se présenter:
    1. : *Executé-attente pour terminaison* est une transition à partir d'une activité en état "exécuté" (avec ou sans risque) dont tous les objets en entrée sont dans des "états cibles" et au moins un objet en sortie n'a pas encore atteint son "état cible" et toutes les activités en amont de l'activité considérée sont dans leurs "états exécutés" (avec ou sans risque).
    2. : *Exécuté-Terminé* est une transition à partir d'une activité en "état exécuté" qui répond aux mêmes conditions que la transition (5), avec en plus un événement de terminaison qui permet de s'assurer que toutes les conditions de sortie sont remplies.
8. : *Exécuté-Suspendu* est une transition à partir d'une activité en "état d'exécuté" (avec ou sans risque) et pour laquelle au moins l'une des conditions d'entrée n'a pas été remplie. Par opposition à l'état terminé, l'activité dans cet état est arrêtée quand un problème surgit et reprend son exécution plus tard dans le processus (retourne à l'état exécuté via l'état H (figure 1)). Cet état est déclenché par le responsable de l'activité.
9. : *Exécuté-Abandonné* est une transition à partir d'une activité en "état exécuté". La transition d'abandon est déclenchée par le responsable de l'activité. Contrairement à l'état suspendu, l'activité est interrompue et ne sera plus exécutée.
10. *: Attente pour terminaison-Terminé* est une transition à partir d'une activité qui est en état "d'attente pour terminaison" dont tous les objets en entrée et en sortie ont atteint leurs "états cibles" et toutes les activités en amont sont dans leurs "états terminés".

diagEtatTransitionModele

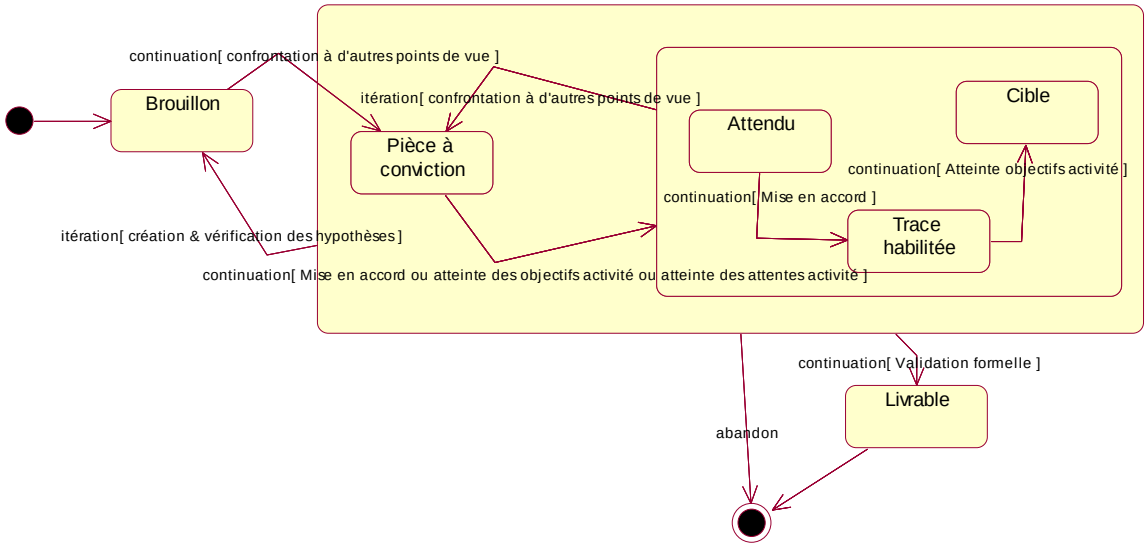


Figure 1 Etats d'un objet intermédiaire échangé entre activités du processus

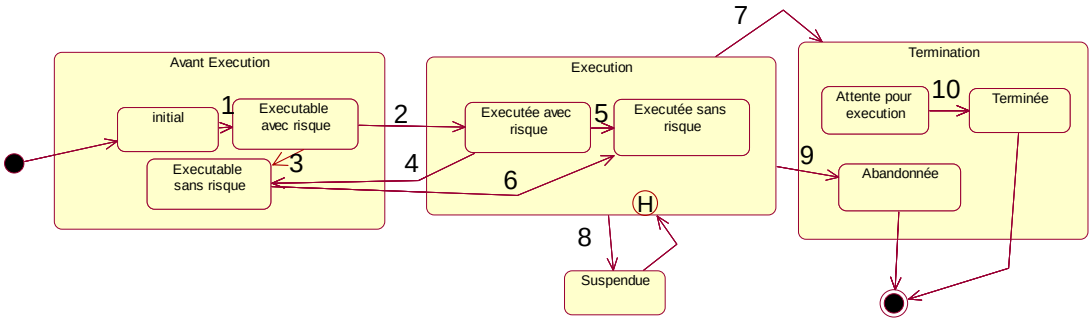


Figure 2 Cycle de vie d'une activité du processus de développement de produit

ExplicationModele

L'application de ce patron permet d'identifier les différents états par lesquels une activité passe pendant un processus de définition de produit.

ExplicationCasApplication

Un processus de développement de produit tel que le PD d'ouvrage hydraulique, pour qu'il soit exécuté en toute sécurité, le système doit vérifier un certain nombre de contraintes de garde sur les transitions entre les activités. Nous considérons deux types de conditions: des conditions portant sur les états des activités (cycle de vie activité) et des conditions portant sur les états des objets entrant/sortant aux activités (cycle de vie d'objet). Prenons l'exemple des activités de la phase de faisabilité du processus "définition d'un ouvrage hydraulique", et plus précisément les activités: "Calcul du profil hydraulique" (dont l'ingénieur hydraulicien est responsable) et "Implantation des installations dans le site" (dont le projeteur GC est responsable). La transition entre ces deux activités est déclenchée si, par exemple, les conditions suivantes sont validées :

1. L'activité "Calcul du profil hydraulique" est dans un état de "exécuté avec risque" OU dans l'état "exécuté sans risque" ET les objets "Profil hydraulique" et "plan d'implantation des installations" sont dans un état de "trace habilitée" ou de "cible"OU
2. L'activité "Calcul du profil hydraulique" est dans un état "terminé".

Requiert

{Exprimer les dépendances}

Table des figures

FIGURE 1 MODELE DE PROCESSUS DE CONCEPTION GENERIQUE 21
FIGURE 2 QUELQUES EXEMPLES DE REPRESENTATIONS DU PRODUIT 22
FIGURE 3 MODELE DE PRODUIT GENERIQUE 23
FIGURE 4 ETAPES PRINCIPALES DU MODELE DE PROCESSUS DE DEFINITION DE PRODUIT 26
FIGURE 5 CROISSANCE DU TAUX DE CONNAISSANCE ET DE LA REDUCTION DE L'INCERTITUDE DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION [ULLMAN 1992] [MIDLER 1993] 30
FIGURE 6 METHODOLOGIE DE RECHERCHE ADOPTEE 44
FIGURE 7 ORGANISATION DANS UN PROJET OU AFFAIRE AU CIH [GREBICI 03] 50
FIGURE 8 MODELE DE PROCESSUS DE DEFINITION DE PRODUIT HYDRAULIQUE AU CIH 51
FIGURE 9 REPRESENTATION DES CABLES D'UN BOITIER ELECTRIQUE SUR UNE COUPE VERTICALE D'UNE USINE. 58
FIGURE 10 EXEMPLE DE COMMUNICATION DES PROJETEURS GC ET EM AUTOUR D'UN PLAN 2D 60
FIGURE 11 EXEMPLE DE SITUATION DE NON PARTAGE DE PLAN 2D ENTRE PROJETEURS GC ET CC 61
FIGURE 12 EXEMPLE D'UN PLAN 2D HETEROGENE 63
FIGURE 13 MODELE DE COORDINATION DE KRISHNAN ET EPPINGER [KRISHNAN ET EPPINGER 1997] 76
FIGURE 14 MODELE DE PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT CONCOURANT [BHUIYAN ET AL. 04] 79
FIGURE 15 MODELE DE CONCEPTION SELON RUIZ-DOMINGUEZ [RUIZ-DOMINGUEZ 05] 82
FIGURE 16 MODELE D'INTEGRATION DES POINTS DE VUE DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION [DARSES 1997]. 82
FIGURE 17 MODELE DE COMMUNICATION DE SHANNON ET WEAVER [SHANNON ET AL. 1949] 84
FIGURE 18 MODELE DE COMMUNICATION DE GERBNER [GERBNER 1956] 85
FIGURE 19 DEGRE DE LIBERTE D'UN OBJET INTERMEDIAIRE DANS L'USAGE [VINCK ET JEANTET 1995] 89
FIGURE 20 MODALITES D'ACTION ET PROCESSUS D'ECHANGE DES OBJETS [LECAILLE 03] 91
FIGURE 21 DIAGRAMME D'ETAT/TRANSITION UML D'UN OBJET INTERMEDIAIRE SOUMIS A DES MODALITES D'ACTION PENDANT UN PROCESSUS DE CONCEPTION 93
FIGURE 22 TREFLE FONCTIONNEL D'UN COLLECTICIEL [SALBER 1995] 97
FIGURE 23 LES FONCTIONNALITES DU TREFLE REVISITES EN FONCTION DE LA VISION DE LA COLLABORATION EN CONCEPTION DE PRODUIT. 98
FIGURE 24 TYPOLOGIE DES OUTILS DE TRAVAIL COLLABORATIF [BALMISSE 04] 102
FIGURE 25 REPRESENTATION QUALITATIVE DE L'EVOLUTION DE LA VALEUR D'UNE INFORMATION PRODUITE PAR L'ACTIVITE AMONT [KRISHNAN ET AL. 1997] 114
FIGURE 26 REPRESENTATION QUALITATIVE DE LA SENSIBILITE [KRISHNAN ET AL. 1997] 115
FIGURE 27 STABILITE ET PRECISION D'UNE INFORMATION ET STRATEGIES DE COORDINATION [TERWIESCH 02] 117
FIGURE 28 AXES DE CARACTERISATION DE L'INCERTITUDE DANS UN MODELE DE SIMULATION SELON GOH [GOH ET AL. 05] 121
FIGURE 29 EVOLUTION DE LA STRUCTURE DES INFORMATIONS MANIPULEES PAR LES CONCEPTEURS [BLANCO ET AL. 01] 124
FIGURE 30 EXEMPLE D'INFORMATIONS NON PERENNE [GAUDIN 01] 125
FIGURE 31 EXEMPLE DE PARAMETRES D'EVALUATION DE MATURITE DEFINIS PAR L'EMETTEUR ET L'UTILISATEUR [SAINT-MARC 04] 132
FIGURE 32 INTERFACE DE L'OUTIL SIGNPOSTING 137

FIGURE 33 INTERFACE DE L'OUTIL QAP 139
FIGURE 34 QUESTION ET SCHEMA DE RATING DANS QAP. 140
FIGURE 35 LA MATURITE EST UN COMPROMIS ENTRE LA CARACTERISATION ET LA QUALIFICATION 141
FIGURE 36 MATURITE DE L'INFORMATION EN CONCEPTION 143
FIGURE 37 PROCESSUS DE CONCEPTION AU CIH 147
FIGURE 38 ZOOM SUR LA PHASE DE FAISABILITE DU PROCESSUS DE CONCEPTION AU CIH.... 148
FIGURE 39 EXEMPLE D'ACTIVITE DE CONCEPTION EMERGENTE (NON PLANIFIEE)..... 149
FIGURE 40 CO-EXISTENCE DE DEUX MODES D'ORGANISATION : CADRE ET EMERGENT 150
FIGURE 41 COOPERATION ENTRE UN PROJETEUR GC ET UN PROJETEUR EM 151
FIGURE 42 COORDINATION ENTRE UN INGENIEUR HYDRAULICIEN ET UN PROJETEUR GC 153
FIGURE 43 CATEGORIES D'OBJET INTERMEDIAIRE 155
FIGURE 44 EXEMPLE DE NOMENCLATURE STRUCTURELLE 156
FIGURE 45 PRISE ET MODALITES D'ACTION 157
FIGURE 46 CRITERES DE MATURITE..... 159
FIGURE 47 ESPACES DE TRAVAIL COLLABORATIF 161
FIGURE 48 META MODELE REPRESENTANT L'ESPACE DE PROXIMITE 163
FIGURE 49 META MODELE REPRESENTANT L'ESPACE PROJET 164
FIGURE 50 META MODELE REPRESENTANT LES INFORMATIONS DE L'ESPACE PUBLIC 166
FIGURE 51 LES VALEURS DE MATURITE ATTENDUE ET CIBLE 168
FIGURE 52 L'ETAT DE TRACE HABILITEE EST UN COMPROMIS ENTRE LES VALEURS DE MATURITE ATTENDUE ET CIBLE 168
FIGURE 53 META MODELISATION REPRESENTANT L'ETAT DE TRACE HABILITEE..... 169
FIGURE 54 CRITERES DE MATURITE ET ETAT DE LIVRABLE D'UN OBJET INTERMEDIAIRE..... 171
FIGURE 55 CRITERES DE MATURITE ET ETAT DE PIECE A CONVICTION D'UN OBJET INTERMEDIAIRE. 173
FIGURE 56 LA DIMENSION « PROCESSUS » SUPPORT DE LA COOPERATION DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 181
FIGURE 57 LA DIMENSION « ACTEUR » SUPPORT DE LA COOPERATION DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 183
FIGURE 58 EXEMPLE DE PROBLEME DE CONCEPTION ILLUSTRE PAR UNE COUPE TRANSVERSALE D'UNE USINE HYDROELECTRIQUE. 184
FIGURE 59 LA DIMENSION "PROBLEME" SUPPORT DE LA COOPERATION DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 186
FIGURE 60 LA DIMENSION « OBJET INTERMEDIAIRE » SUPPORT DE LA COOPERATION..... 188
FIGURE 61 LE MODELE DE L'ENVIRONNEMENT COLLABORATIF 190
FIGURE 62 EXEMPLE D'UN ESPACE DE PROXIMITE 194
FIGURE 63 DEPENDANCE ENTRE DEUX OBJETS INTERMEDIAIRES PRODUITS PAR DEUX ACTIVITES PLANIFIEES DANS LE PROCESSUS 201
FIGURE 64 DEPENDANCE DIRECTE/RETOUR ENTRE LES OBJETS INTERMEDIAIRES OI1 ET OI2 [GREBICI ET AL. 06A] 204
FIGURE 65 CORRESPONDANCES ENTRE DEGRE DE DEPENDANCE ET TYPE DE DEPENDANCE ENTRE DEUX OBJETS 206
FIGURE 66 EXEMPLE DE DEPENDANCE SIMPLE 207
FIGURE 67 EXEMPLE DE DEPENDANCE COUPLEE ENTRE LE PROFIL HYDRAULIQUE ET LE PLAN D'IMPLANTATION DES INSTALLATIONS HYDROELECTRIQUES 208
FIGURE 68 EXEMPLE D'INTERDEPENDANCE ENTRE LE PLAN DE DEFINITION DES INSTALLATIONS ET LA COUPE TRANSVERSALE DE L'USINE 209
FIGURE 69 DEGRE DE DEPENDANCE VS TYPE DE DEPENDANCE 209
FIGURE 70 EXEMPLE DE RESEAU DE DEPENDANCE ENTRE OBJETS INTERMEDIAIRES AU CIH.212
FIGURE 71 CYCLES DE DEPENDANCE COUPLEE ET D'INTERDEPENDANCE 213
FIGURE 72 ORGANISATION DU FLUX D'INFORMATION EN DEHORS DES CYCLES D'ITERATION 214
FIGURE 73 ORGANISATION FINALE DU FLUX D'INFORMATION DANS LE PROCESSUS 215
FIGURE 74 AVANT STRUCTURATION DU FLUX D'INFORMATION 216
FIGURE 75 DEPENDANCE SIMPLE..... 218
FIGURE 76 EXEMPLES DE COUPLAGE ET D'INTERDEPENDANCE ENTRE ACTIVITES 225
FIGURE 77 STRATEGIES DE DIFFUSION PROPOSEES 225

FIGURE 78 TAUX DE RECOUVREMENT ET TAUX D'INTERACTIONS MULTIDISCIPLINAIRES ENTRE ACTIVITES DEPENDANTES 229
FIGURE 79 IMPACT DE LA COMBINAISON DES TAUX DE RECOUVREMENT ET D'INTERACTION EN CAS DE FAIBLE COMPLETUDE [BHUIYAN ET AL.04] 232
FIGURE 80 IMPACT DE LA COMBINAISON DES TAUX DE RECOUVREMENT ET D'INTERACTION EN CAS DE FORTE COMPLETUDE 233
FIGURE 81 TAUX DE RECOUVREMENT ET TAUX D'INTERACTION ET CRITERES DE MATURITE 234
FIGURE 82 PAGES D'ACCUEIL DE L'APPLICATION PIQUANT 238
FIGURE 83 DEFINITION DES CRITERES DE MATURITE DANS LE PROTOTYPE PIQUANT 239
FIGURE 84 GESTION DE LA DIFFUSION DES OI DANS LES DIFFERENTS ESPACES DE TRAVAIL 240
FIGURE 85 CARACTERISATION ET QUALIFICATION D'UN OBJET DANS L'ESPACE PROJET 242
FIGURE 86 L'IDENTIFICATION DES OBJETS/ACTIVITES CRITIQUES DANS L'ESPACE PROJET 243
FIGURE 87 CREATION D'UN ESPACE DE PROXIMITE A PARTIR DE L'ESPACE PROJET 243
FIGURE 88 ESPACE DE PROXIMITE 244
FIGURE 89 ESPACE DE PROXIMITE : ACTIVITE NON PLANIFIEE 245
FIGURE 90 INTERFACE DE DESCRIPTION D'UN OBJET INTERMEDIAIRE 246
FIGURE 91 DEFINITION DES VALEURS EN COURS DE LA MATURITE D'UN OI DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 247
FIGURE 92 CONSTRUCTION DE LA MATURITE DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 248
FIGURE 93 LES DIFFERENTS ROLE DANS LE SYSTEME PIQUANT 250
FIGURE 94 LE ROLE DE L'ADMINISTRATEUR 250
FIGURE 95 LE ROLE DU CHEF DE PROJET 251
FIGURE 96 LE ROLE DU RESPONSABLE D'UNE ACTIVITE PLANIFIEE 252
FIGURE 97 LE ROLE D'UN MEMBRE CONTRIBUTEUR DE L'EQUIPE PROJET 252
FIGURE 98 LE ROLE DES ACTEURS HOTE ET INVITE DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 253
FIGURE 99 LE ROLE D'UN HOTE DANS L'ESTIMATION DES VALEURS EN COURS DE LA MATURITE 253
FIGURE 100 SCENARIO DE SELECTION D'UNE ACTIVITE PLANIFIEE 254
FIGURE 101 SCENARIO DE DEFINITION DES VALEURS EN COURS DES CRITERES DE MATURITE INPUT 255
FIGURE 102 DIAGRAMME DE CLASSES ASSOCIE A LA DEFINITION DE LA VALEUR DE LA MATURITE INPUT 257
FIGURE 103 AVANT PROJET « KH_NORD » REPRESENTE A UN INSTANT « T » DANS L'OUTIL PIQUANT 260
FIGURE 104 LES CRITERES DE MATURITE IDENTIFIES PAR LES ACTEURS DE L'EQUIPE PROJET 261
FIGURE 105 ESPACE DE TRAVAIL PROJET RELATIF A L'AFFAIRE *KH_NORD* 263
FIGURE 106 DISCUSSION AUTOUR DE LA VALEUR DE LA MATURITE DANS L'ESPACE DE PROXIMITE 264
FIGURE 107 CONSTRUCTION DE LA MATURITE DU CAHIER DES CHARGES 266
FIGURE 108 LIENS"UTILISE" ET "REQUIERT" ENTRE PATRONS 274
FIGURE 109 LIENS ENTRE LES PRINCIPAUX PATRONS DU CATALOGUE SGII 275
FIGURE 110 LIENS ENTRE LES PATRONS UTILISES DANS LE PATRON "IDENTIFIER POINTS DE VARIABILITE" 278
FIGURE 111 EXEMPLE DE MODELE RESULTAT OBTENU DE L'APPLICATION DU PATRON « NIVEAUX DE PRODUIT » 281
FIGURE 112 EXEMPLE DE MODELE RESULTAT DE L'APPLICATION DES PATRONS « CONSTRUIRE NOMENCLATURE » ET « NOMENCLATURES APPLIQUEES » 282
FIGURE 113 EXEMPLE DE MODELE RESULTAT OBTENU DE L'APPLICATION DU PATRON « DOCUMENTS APPLIQUES » 283
FIGURE 114 LIENS ENTRE PATRONS UTILISES DANS LE PATRON « DEFINIR PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUIT ». 285
FIGURE 115 DECOMPOSITION DU PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUIT HYDROELECTRIQUE 291
FIGURE 116 LIENS ENTRE LE PATRON « EXPRIMER DEPENDANCES » ET LES PATRONS UTILISES/REQUIS 293

FIGURE 117 PATRONS DE DOCUMENTATIONS DU PATRON « DEFINIR UN PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE PRODUIT » 294
FIGURE 118 LIENS ENTRE LE PATRON « DEFINIR CRITERES DE MATURITE ET LE PATRON « IDENTIFIER POINTS DE VARIABILITE » 295
FIGURE 119 LIENS ENTRE LES PRINCIPAUX PATRONS DU CATALOGUE 301
FIGURE 120 LIENS ENTRE PATRONS DEFINISSANT LE MODELE DE PRODUIT 302
FIGURE 121 LIENS ENTRE PATRONS DEFINISSANT LE MODELE DE PROCESSUS ET LES INFORMATIONS 303
FIGURE 122 LIEN ENTRE PATRONS DEFINISSANT LE MODELE DE MATURITE 303
FIGURE 123 PROCESSUS DE CONCEPTION D'APRES PAHL ET BEITZ 326
FIGURE 124 PROCESSUS DE CONCEPTION SELON ULRICH ET EPPINGER 327
FIGURE 125 PROCESSUS DE CONCEPTION SELON PUGH. 327
FIGURE 126 DIAGRAMME DE CLASSE UML REPRESENTANT LE NIVEAU D'ABSTRACTION DU PRODUIT [GZARA 00] 329
FIGURE 127 DIAGRAMME DE CLASSES UML REPRESENTANT LES NOMENCLATURES D'UN PRODUIT 331
FIGURE 128 DIAGRAMME DE CLASSES UML REPRESENTANT LA TYPOLOGIE DES DOCUMENTS 333
FIGURE 129 LIEN ENTRE LES PARAMETRES DE CONCEPTION, LE PRODUIT, LES DOCUMENTS ET LES ACTEURS DE LA CONCEPTION 335
FIGURE 130 META MODELE REPRESENTANT LES LIENS DE CARACTERISATION ENTRE LES PARAMETRES DE CONCEPTION ET LES AUTRES OBJETS DU MODELE PRODUIT 336
FIGURE 131 DIAGRAMME DE CLASSE DU MODELE DE PRODUIT [NOËL ET AL. 04] 337
FIGURE 132 META MODELE REPRESENTANT LE MODELE GENERIQUE DE PRODUIT 338
FIGURE 133 EVOLUTION DES PROBABILITES D'ITERATION EN FONCTION DES TAUX D'INTERACTION ET DES TAUX DE RECOUVREMENT [BHUIYAN, GERWIN ET THOMSON 04] 354
FIGURE 134 LES ETUDES DE CAS CONSIDEREES DANS [BHUIYAN ET AL. 04] 355
FIGURE 135 LES RESULTATS DE SIMULATIONS DANS [BHUIYAN ET AL. 04] 355
FIGURE 136 DIAGRAMME DE SEQUENCE REPRESENTANT UN SCENARIO DE CREATION D'UN OBJET INTERMEDIAIRE 356
FIGURE 137 DIAGRAMME DE SEQUENCE REPRESENTANT UN SCENARIO D'AFFECTATION DES MATURITES CIBLES A UN OBJET INTERMEDIAIRE 357
FIGURE 138 DIAGRAMME DE SEQUENCE REPRESENTANT UN SCENARIO D'AFFECTATION DE LA MATURITE ATTENDUE A UN OBJET INTERMEDIAIRE 358
FIGURE 139 DIAGRAMME DE SEQUENCE REPRESENTANT UN SCENARIO D'AFFECTATION DE LA PARTIE INPUT DE LA MATURITE EN COURS D'UN OBJET INTERMEDIAIRE 359
FIGURE 140 DIAGRAMME DE SEQUENCE REPRESENTANT UN SCENARIO D'AFFECTATION DES PARTIES OUTPUT ET INTRINSEQUE DE LA MATURITE EN COURS D'UN OBJET INTERMEDIAIRE. 360

Liste des tableaux

TABLEAU 1 METHODES D'ANALYSE DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION [WALDRON ET AL. 1996]. 43
TABLEAU 2 TAILLE D'UN PROJET AU CIH [GREBICI 03] 48
TABLEAU 3 ELEMENTS DE DIFFERENCIATION ENTRE UNE SITUATION DE COORDINATION ET UNE SITUATION DE COOPERATION 94
TABLEAU 4 FONCTIONNALITES REQUISES POUR LE SUPPORT DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION COLLABORATIVE 110
TABLEAU 5 CLASSES D'INFORMATION SELON LE DEGRE DE PERENNITE. 126
TABLEAU 6 NIVEAUX DE VARIATION/D'EVOLUTION D'UNE ACTIVITE (INSPIRE DES TRAVAUX DE [KRISHNAN ET AL. 1997] 135
TABLEAU 7 NIVEAUX DE SENSIBILITE D'UNE INFORMATION (INSPIRE DES TRAVAUX DE [YASSINE ET AL. 1999]) 136
TABLEAU 8 NIVEAUX DE COMPLETUDE [GREBICI ET AL. 06A] 136
TABLEAU 9 VALEURS DU DEGRE DE DEPENDANCE [GREBICI ET AL .06A] 205
TABLEAU 10 DEGRE DE DEPENDANCE VS COLLABORATION 210
TABLEAU 11 CRITERES DE MATURITE ET STRATEGIES DE DIFFUSION DES OBJETS INTERMEDIAIRES [GREBICI 06A] 221
TABLEAU 12 FONCTIONNALITES REMPLIES PAR LE PROTOTYPE PIQUANT 269
TABLEAU 13 EXEMPLES DE PARAMETRES DE CONCEPTION EN INGENIERIE HYDRAULIQUE. 347

Résumé

Les processus de conception de produit comme ceux de l'industrie hydroélectrique, sont collaboratifs et sont caractérisés par l'incertitude et l'interdépendance des informations. En effet, certaines informations sont de sources certaines (telles que les normes), d'autres sont de sources incertaines (telles que les résultats intermédiaires de conception), ou représentent des hypothèses de travail que les acteurs posent afin de palier aux situations de blocage en conception. L'interdépendance est une conséquence de la complexité du produit et de l'organisation du processus (une multitude d'acteurs). L'incertitude et l'interdépendance causent inévitablement des risques d'itération dans la conception et par conséquent, induisent des délais et des surcoûts dans le projet. La question traitée dans cette thèse est comment améliorer les échanges d'information et la collaboration dans les équipes projet ? L'intérêt est d'explorer les moyens de mieux utiliser les informations dans le processus de conception afin d'éviter les itérations. La thèse propose un cadre de collaboration qui englobe : (1) un modèle de maturité d'information en conception, (2) un cadre d'échange d'information unifié qui considère des mécanismes de coordination et de coopération et (3) des fonctionnalités de futur systèmes de gestion d'information. Ce dernier apport représente une mise en œuvre du cadre théorique proposé dans cette thèse. Cette mise en œuvre est réalisée au travers un prototype d'illustration des fonctionnalités (PIQUANT) et une démarche à base de patrons.

Mots clés : *Systèmes d'information, maturité de l'information, ingénierie collaborative, coordination, coopération.*

Abstract

The product design processes, such as in the Hydro energy, are collaborative and are characterized by uncertainty and interdependency of information. Indeed, some information is from certain sources (such as standards), other information is from uncertain sources (such as intermediate design results), or it can be a poorly validated hypothesis that a designer uses in order to cope with complex design problems. Interdependency is a consequence of both product and organizational complexity (many partners). Information uncertainty and interdependency causes inevitable risk of rework in the design process and thus causes delay and cost overruns. The problem to be addressed is how to improve information exchange and collaboration within design teams? The interest of this work is to investigate the mechanisms to better use of the design information during the design process in order to avoid reworks. The thesis proposes a collaborative framework including: (1) information maturity model, (2) a unified framework to exchange information taking into account the coordination and the cooperation mechanisms and (3) functionalities of new systems for information management. The latter contribution represents the implementation of a prototype (PIQUANT) (in order to illustrate the proposed functionalities) and based-pattern approach.

Keywords: *Information systems, information maturity, collaborative engineering, coordination, cooperation.*