



**HAL**  
open science

# CONCEPTION COLLABORATIVE EN GENIE ELECTRIQUE:SPECIFICATION PAR L'USAGE ET REALISATION D'UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT

Imen Ammar Khelil

► **To cite this version:**

Imen Ammar Khelil. CONCEPTION COLLABORATIVE EN GENIE ELECTRIQUE:SPECIFICATION PAR L'USAGE ET REALISATION D'UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2007. Français. NNT: . tel-00267094

**HAL Id: tel-00267094**

**<https://theses.hal.science/tel-00267094>**

Submitted on 26 Mar 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.

*UNIVERSITE JOSEPH FOURIER*

N° attribué par la bibliothèque  
/ / / / / / / / / / / / / / / /

***THESE***

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE l'Université Joseph Fourier**

Spécialité : Génie Electrique

préparée au **Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble**

dans le cadre de l'Ecole Doctorale

Electronique Electrotechnique Automatique Télécommunications Signal

présentée et soutenue publiquement par

***Imen AMMAR KHELIL***

(Master Informatique Automatique Productique)

*Le 23 Janvier 2007*

---

## **CONCEPTION COLLABORATIVE EN GENIE**

### **ELECTRIQUE:**

*SPECIFICATION PAR L'USAGE ET REALISATION D'UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU  
DIMENSIONNEMENT*

---

Directeur de thèse : Laurent GERBAUD

Co-encadrant : Frédéric WURTZ

#### ***JURY***

Monsieur	Jean-François BOUJUT	Président
Monsieur	Christophe ESPANET	Rapporteur
Monsieur	Mohamed ANNABI	Rapporteur
Monsieur	Laurent GERBAUD	Directeur de thèse
Monsieur	Frédéric WURTZ	Co-encadrant
Monsieur	Eric BONJOUR	Examineur

## *REMERCIEMENTS*

Je tiens à remercier Monsieur Jean-François BOUJUT, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble pour avoir accepté de présider mon jury de thèse.

Mes sincères remerciements sont adressés à Monsieur Mohamed ANNABI professeur de l'Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis et à Monsieur Christophe ESPANET Maître de Conférences à l'Université de Franche-Comté pour avoir accepté de rapporter ces travaux.

Un grand merci est adressé à Monsieur Eric BONJOUR, Maîtres des conférences à l'Université de Franche-Comté pour m'avoir initié à l'activité de conception et de m'avoir honoré avec sa présence et ses conseils.

Je remercie également mon directeur de thèse Monsieur Laurent GERBAUD, professeur de l'Université Joseph Fourier pour ces efforts et pour son soutien permanent durant ces trois ans et quatre mois. A côté de toi j'ai gagné beaucoup en organisation et en pragmatisme. Tu étais pour moi un repère fixe qui me rassurait sur les tenants et les aboutissants de ce travail.

Merci aussi pour mon deuxième directeur de thèse Monsieur Frédéric WURTZ, Chargé de Recherche au CNRS, son intérêt pour l'activité de conception m'a été d'une grande aide durant les moments difficiles.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé pour ce travail et surtout pour la partie programmation : Bertrand (Mon professeur très pédagogue et incroyablement gentil), Francky (Moins pédagogue mais très gentil également), Benoît pour son sens critique et pour ses idées très enrichissantes.

Mes remerciements aux amis et collègues de l'équipe CDI : Hichème, Lalao, Edourd, Denis ...

J'adresse ma profonde gratitude aux techniciens, ingénieurs, service informatique, et administratifs du laboratoire. Vous étiez pour moi une grande famille adoptive avec qui j'ai partagé tous mes joies et soucis.

Mes amitiés et ma gratitude à Delphine et Vincent. Vous étiez pour moi d'un grand soutien moral. Votre sens de l'écoute et votre encouragement m'a aidé à avancer et à mener à bien cette expérience.

Pour finir, je remercie mon cher époux, ma famille et ma belle famille qui m'ont épaulé pour arriver jusque là et qui sont aujourd'hui présent pour partager ce bonheur avec moi. Je ne serais pas la sans leur confiance et soutien inconditionnel.

A la fleur qui parfume par son essence toute ma vie,  
à *Yasmine*

# TABLE DES MATIERES

<b>CHAPITRE I.....</b>	<b>17</b>
<b>CARACTERISATION DE LA CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE.....</b>	<b>17</b>
INTRODUCTION .....	17
I. L'ACTIVITE DE CONCEPTION.....	17
I.1. La conception : une activité cognitive complexe.....	17
I.2. Une conception routinière.....	18
I.3. Une phase de la conception détaillée : le dimensionnement.....	18
II. LA CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE.....	19
II.1. Quelques approches de la conception collaborative.....	20
II.1.1. L'approche de conception séquentielle.....	20
II.1.2. L'approche de conception parallèle .....	21
II.2. Les outils de travail collaboratif.....	21
II.2.1. Les outils de communication classique.....	22
II.2.2. Les outils de collaboration.....	22
II.3. Problématique de la conception collaborative à distance .....	23
III. CONCEPTS THEORIQUES COGNITIFS IMPORTANTS .....	24
III.1. Nature et dynamique des connaissances .....	24
III.1.1. Le savoir et le savoir-faire .....	24
III.1.2. Le formel et l'informel .....	25
III.2. Caractérisation des échanges d'information .....	26
III.2.1. Les échanges synchrones et asynchrones .....	26
III.2.2. Les échanges inter et intra-métiers .....	26
III.3. Les approches collaboratives.....	26
III.3.1. La collaboration.....	27
III.3.2. La coopération.....	27
III.4. La synchronisation cognitive.....	28
IV. LE DIMENSIONNEMENT EN GENIE ELECTRIQUE .....	28
IV.1. Le dimensionnement préliminaire des structures.....	28
IV.2. Les phases du pré-dimensionnement.....	29
IV.2.1. Phase de modélisation analytique.....	30
IV.2.2. La phase de génération du composant logiciel de calcul .....	31
IV.2.3. La composition des modèles.....	32
IV.2.4. La phase d'optimisation sous contraintes.....	33
IV.2.5. L'analyse et la visulaton des résultats de l'optimisation.....	34
V. PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE.....	35
V.1. Rappel du contexte : dimensionnement collaboratif à distance .....	35
V.2. Objectif : un outil logiciel d'aide au co-dimensionnement .....	35
V.3. Démarche adoptée : de l'observation à la spécification.....	36
CONCLUSION.....	37

<b>CHAPITRE II .....</b>	<b>39</b>
<b>SPECIFICATION D'UNE APPROCHE DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF.....</b>	<b>39</b>
INTRODUCTION .....	39
I. CHOIX DE LA METHODOLOGIE D'ANALYSE DES BESOINS .....	40
I.1. <i>L'observation du processus</i> .....	40
I.1.1. L'usage .....	40
I.1.2. L'observation du processus .....	41
I.1.3. Analyse des enregistrements.....	41
I.2. <i>Notre démarche d'analyse</i> .....	41
I.3. <i>Les différentes dynamiques collaboratives à observer</i> .....	42
I.3.1. Les stratégies et les démarches collaboratives déployées .....	42
I.3.2. Les informations échangées intra et inter-groupes.....	42
I.3.3. La synchronisation cognitive entre les concepteurs.....	42
I.3.4. La gestion des situations conflictuelles.....	43
I.3.5. Influence de la distribution spatiale sur les dynamiques collaboratives.....	43
II. LES EXPERIENCES DE CONCEPTION COLLABORATIVE.....	43
II.1. <i>L'application support aux expériences : un déclencheur électromécanique</i> .....	43
II.1.1. Le déclencheur à concevoir .....	43
II.1.2. Le principe de fonctionnement .....	44
II.1.3. Les aspects multidisciplinaires à gérer de manière collaborative.....	45
II.2. <i>Les différentes expériences étudiées</i> .....	46
II.2.1. Les expériences de dimensionnement dans un contexte de recherche .....	46
II.2.2. Les expériences de prise en main du prise de dimensionnement .....	46
II.2.3. Les expériences de dimensionnement dans un contexte pédagogique .....	47
II.3. <i>Description détaillée des expériences de dimensionnement collaboratif via Internet</i> .....	48
II.3.1. L'organisation.....	48
II.3.2. Le scénario.....	49
II.3.3. Le planning.....	50
II.3.3.1. Expériences de la première année .....	50
II.3.3.2. Expériences de la deuxième année.....	50
II.3.4. Les ressources mises à disposition pour les expériences .....	52
II.3.4.1. Les périphériques de travail collaboratif .....	52
II.3.4.2. Les logiciels de communication et de travail collaboratif .....	52
II.3.4.3. Les logiciels CAO de travail dans les métiers : .....	53
II.3.5. Les dispositifs de capture et de traçage.....	53
III. OBSERVATIONS ET ANALYSES MACROSCOPIQUES DES EXPERIENCES .....	53
III.1. <i>La stratégie de dimensionnement séparée</i> .....	54
III.2. <i>La stratégie de dimensionnement intégrée</i> .....	55
IV. CONSTATS ET ANALYSE DES EXPERIENCES.....	57
IV.1. <i>Importance de la construction d'une confiance mutuelle</i> .....	57
IV.2. <i>Difficulté de la gestion de l'activité globale</i> .....	57
IV.3. <i>Besoin des phases de travail asynchrone et asynchrone</i> .....	58
IV.4. <i>Des méthodologies et des outils de dimensionnement différents</i> .....	58

IV.5.	<i>Mauvaise gestion des interdépendances</i> .....	58
IV.6.	<i>Difficulté de gestion des échanges informationnelles</i> .....	59
IV.7.	<i>La difficulté de la synchronisation cognitive</i> .....	59
IV.8.	<i>Problèmes liées au matériel</i> .....	60
IV.9.	<i>Synthèse des problèmes observés</i> .....	61
<b>V.</b>	<b>SPECIFICATION D'UNE DEMARCHE DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF</b> .....	<b>62</b>
V.1.	<i>Alternance des phases de travail synchrone et asynchrone</i> .....	62
V.2.	<i>Organisation de l'activité globale</i> .....	63
V.2.1.	<i>Spécifier différents rôles: un animateur</i> .....	63
V.2.2.	<i>Organiser les phases de travail synchrone: un système prise de main</i> .....	63
V.3.	<i>Aider la prise en charge des interdépendances</i> .....	63
V.3.1.	<i>Définir les paramètres communs : un glossaire</i> .....	64
V.3.2.	<i>Détection des paramètres communs: un module de détection</i> .....	64
V.3.3.	<i>Détection des contraintes contradictoires</i> .....	64
V.3.4.	<i>Favoriser la résolution collaborative de conflits</i> .....	64
V.4.	<i>Gérer les différents types d'informations échangées</i> .....	64
V.4.1.	<i>Stockage des données</i> .....	65
V.4.2.	<i>La mise à jour des données</i> .....	65
V.5.	<i>Synthèse des spécifications développées</i> .....	65
	CONCLUSION.....	66
	<b>CHAPITRE III</b> .....	<b>69</b>
	<b>COSTO : UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF A DISTANCE</b> .....	<b>69</b>
	INTRODUCTION .....	69
I.	DEMARCHE DE DIMENSIONNEMENT INTEGREE.....	69
I.1.	<i>Phase de modélisation collaborative</i> .....	70
I.2.	<i>Phase de construction collaborative du cahier des charges pour l'optimisation</i> .....	71
I.3.	<i>Phase d'optimisation et analyse des résultats</i> .....	71
I.4.	<i>Désignation d'un animateur</i> .....	71
II.	L'ENVIRONNEMENT SUPPORT A CETTE DEMARCHE .....	72
II.1.	<i>La réalisation informatique</i> .....	72
II.2.	<i>L'architecture de CoSTo: Client-Serveur</i> .....	73
II.3.	<i>Les données manipulées par cette démarche</i> .....	76
II.3.1.	Les données liées à la phase de modélisation .....	76
II.3.1.1.	Les composant logiciels de calcul .....	76
II.3.1.2.	Un glossaire des paramètres .....	76
II.3.1.3.	La connectique des modèles.....	77
II.3.1.4.	Le modèle global.....	78
II.3.2.	Les données liées à la phase d'optimisation .....	79
II.3.2.1.	le cahier des charges initial .....	79
II.3.2.2.	les cahiers des charges métiers.....	80
II.3.2.3.	Le cahier des charges Collaboratif .....	80

III.	LES FONCTIONNALITES GLOBALES DE CoSTo.....	81
III.1.	<i>Le système de prise de main.....</i>	81
III.2.	<i>Un glossaire des paramètres communs.....</i>	82
III.3.	<i>Le stockage des données métiers.....</i>	82
III.4.	<i>Le partage des documents collaboratifs.....</i>	83
III.5.	<i>Le module de vote.....</i>	83
IV.	LES FONCTIONNALITES DE CoSTo LIEES A LA PHASE DE MODELISATION COLLABORATIVE.....	84
IV.1.	<i>Phase 1: construction collaborative du glossaire des paramètres communs.....</i>	86
IV.2.	<i>Phase 2: l'ajout et l'introspection des composants logiciels métiers.....</i>	87
IV.3.	<i>Phase 3: détection des paramètres communs.....</i>	89
IV.4.	<i>Phase 4: Gestion des paramètres ayant le même nom.....</i>	90
IV.5.	<i>Phase 5 : Connexion des paramètres ayant des noms différents avec une signification commune.....</i>	91
IV.6.	<i>Composition du modèle global.....</i>	91
V.	LES FONCTIONNALITES LIEES A LA PHASE D'OPTIMISATION COLLABORATIVE.....	92
V.1.	<i>Phase 1: récupération du cahier des charges.....</i>	93
V.2.	<i>Phase 2: développement des contraintes pour l'optimisation.....</i>	94
V.3.	<i>Phase 3: construction collaborative du cahier des charges global.....</i>	95
V.3.1.	<i>La stratégie de prise de main successive.....</i>	95
V.3.2.	<i>La stratégie de modification parallèle.....</i>	96
V.3.2.1.	<i>Phase 1: Récupération des différents cahiers des charges métiers.....</i>	97
V.3.2.2.	<i>Phase de vérification de la cohérence des contraintes communes.....</i>	98
V.3.2.3.	<i>Résolution de conflits.....</i>	100
	CONCLUSION.....	101
	<b>CHAPITRE IV.....</b>	<b>104</b>
	<b>APPLICATION DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF A DISTANCE.....</b>	<b>104</b>
	INTRODUCTION.....	104
I.	SCENARIO DE L'UTILISATION DE CoSTo.....	104
I.1.	<i>Présentation de l'expérience.....</i>	104
I.2.	<i>Les participants et leur rôle.....</i>	105
I.3.	<i>Le scénario.....</i>	106
I.4.	<i>Les ressources et les moyens mis à disposition.....</i>	106
II.	LES PHASES DU SCENARIO DE DIMENSIONNEMENT.....	108
II.1.	<i>Phase1: lancement du projet.....</i>	108
II.2.	<i>Phase 2: construction collaborative du glossaire des paramètres communs.....</i>	109
II.3.	<i>Phase 3: Modélisation asynchrone dans les métiers.....</i>	110
II.4.	<i>Phase 4: composition collaborative du modèle global.....</i>	110
II.5.	<i>Phase 5: définition des contraintes de l'optimisation.....</i>	113
II.6.	<i>Phase 6: Construction collaborative du cahier des charges.....</i>	113
II.7.	<i>Phase 7: optimisation sous contraintes.....</i>	115
III.	TEST D'UNE PREMIERE VERSION DE CoSTo DANS UN CADRE PEDAGOGIQUE.....	115
	CONCLUSION.....	116



<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>118</b>
I. CONCLUSION .....	118
II. QUELQUES PERSPECTIVES.....	119
II.1. <i>Validation quantitative</i> .....	119
II.2. <i>Validation dans le contexte industriel</i> .....	120
II.3. <i>Analyse des résultats de l'optimisation</i> .....	120
II.4. <i>Tracabilité de l'évolution des modèles et des cahiers des charges</i> .....	120
II.5. <i>Composition des modèles en Boite Blanche [Ala03]</i> .....	121
II.6. <i>Analyser les apports et les limites cognitifs de l'utilisation de CoSto</i> .....	121
II.7. <i>D'autres phases du processus de conception</i> .....	121
<b>ANNEXE I .....</b>	<b>123</b>
<b>CAHIER DES CHARGES INTIAL .....</b>	<b>123</b>
<b>ANNEXE II.....</b>	<b>124</b>
<b>MODELE ANALYTIQUE DU GROUPE ELECTROMECHANIQUE.....</b>	<b>124</b>
<b>ANNEXE III .....</b>	<b>132</b>
<b>EXEMPLE DE CAHIER DES CHARGES POUR LE DIMENSIONNEMENT .....</b>	<b>132</b>
<b>ANNEXE IV .....</b>	<b>134</b>
<b>ANALYSE DES EXPERIENCES DE CONCEPTION COLLABORATIVE VIA INTERNET.....</b>	<b>134</b>
<b>ANNEXE V.....</b>	<b>141</b>
<b>DONNEES INFORMELLES ECHANGEES ENTRE LES CONCEPTEURS VIA LE TABLEAU BLANC DE NETMEETING.....</b>	<b>141</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>146</b>

# LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LES PHASES DU PROCESSUS DE CONCEPTION .....	18
FIGURE 2 : CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE .....	19
FIGURE 3: L'APPROCHE DE CONCEPTION SEQUENTIELLE .....	20
FIGURE 4: PROCESSUS DE CONCEPTION PARALLELE [Bri96] .....	21
FIGURE 5 : LE CYCLE DE CREATION DE LA CONNAISSANCE [Non95] .....	25
FIGURE 6: LES CADRES DE LA COOPERATION EN CONCEPTION D'APRES [RUI 05 ].....	27
FIGURE 7 : LE PROCESSUS DE DIMENSIONNEMENT .....	29
FIGURE 8 : LES PHASES DE DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE PAR L'OPTIMISATION .....	30
FIGURE 9: ARCHITECTURE D'UN COMPOSANT LOGICIEL .....	32
FIGURE 11 : LE FONCTIONNEMENT GENERAL DE L'OPTIMISATION [Fis04].....	34
FIGURE 12 : MODULE D'ANALYSE ET DE VISUALISATION DES RESULTATS DE L'OPTIMISATION .....	34
FIGURE 13 : DIMENSIONNEMENT COLLABORATIVE A DISTANCE" VIA INTERNET" .....	35
FIGURE 14 : DEMARCHE SUIVIE POUR ASSISTER LE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF .....	36
FIGURE 15: DEMARCHE D'OBSERVATION ET D'ANALYSE DES BESOINS .....	40
FIGURE 16: DECLENCHEUR ELECTROMECHANIQUE A CONCEVOIR .....	44
FIGURE 17: PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU DECLENCHEUR.....	44
FIGURE 18 : EXEMPLE DE PARAMETRES ANTAGONISTES A OPTIMISER .....	46
FIGURE 19 : EXPERIENCES DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF A DISTANCE.....	47
FIGURE 20: ORGANISATION DES GROUPES – PROJETS.....	49
FIGURE 21: SCENARIO DES EXPERIENCES DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIFS .....	49
FIGURE 22 : PERIPHERIQUES DE COMMUNICATION A DISTANCE .....	52
FIGURE 23: STRATEGIE D'OPTIMISATION SEPEREE .....	55
FIGURE 24 : STRATEGIE INTEGREE .....	56
FIGURE 25: LES PROBLEMES OBSERVES DURANT LES EXPERIENCES .....	61
FIGURE 26: DEMARCHE INTEGREE POUR LE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF .....	70
FIGURE 27 : L'ARCHITECTURE DE L'ENVIRONNEMENT.....	73
FIGURE 28: ARCHITECTURE CLIENT-SERVEUR [MER] .....	74
FIGURE 29 : CONNEXION CLIENT-SERVEUR.....	74
FIGURE 30 : ENVIRONNEMENT DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF VIA INTERNET.....	75
FIGURE 31 : INTROSPECTION DES COMPOSANTS PAR CoSto .....	76
FIGURE 32 : STRUCTURE DU GLOSSAIRE DES PARAMETRES AU FORMAT XML.....	77
FIGURE 33 : INTERDEPENDANCES ENTRE LES MODELES .....	77
FIGURE 34 : STRUCTURE DU FICHIER XML DE CONNECTIQUE DES MODELES .....	78
FIGURE 35: STRUCTURE XML DU FICHIER CONTENANT LA LISTE DES PARAMETRES D'ENTREE SORTIE DU MODELE GLOBAL .....	79
FIGURE 36 : STRUCTURE D'UN CAHIER DE CHARGE INITIAL.....	79
FIGURE 37 : STRUCTURE XML D'UN FICHIER D'UN CAHIER DES CHARGES .....	80

FIGURE 38: EVOLUTION DE LA RESOLUTION DES CONFLITS DU CAHIER DES CHARGES COLLABORATIF .....	81
FIGURE 39 : ESPACE DE STOCKAGE ET DE PARTAGE DES DONNEES .....	82
FIGURE 40: MODULE DE VOTE DE CoSto.....	84
FIGURE 41: LA PHASE DE MODELISATION COLLABORATIVE .....	85
FIGURE 42 : LES PHASES DE CONSTRUCTION COLLABORATIVE DU MODELE GLOBAL .....	86
FIGURE 43: MODIFICATION ET MISE A JOUR DU GLOSSAIRE DES PARAMETRES COMMUNS.....	87
FIGURE 44: INTROSPECTION ET STOCKAGE DES COMPOSANTS LOGICIELS .....	88
FIGURE 45 : AJOUT D'UN COMPOSANT LOGICIEL DE CALCUL AU SERVEUR .....	88
FIGURE 46 : PHASE DE DETECTION DES PARAMETRES COMMUNS.....	89
FIGURE 47 : GESTION DES PARAMETRES AYANT LE MEME NOM .....	90
FIGURE 48 : EXEMPLE DE PARAMETRES COMMUNS AYANT DES NOMS DIFFERENTS.....	91
FIGURE 49: GENERATION DU COMPOSANT LOGICIEL DE CALCUL DU MODELE GLOBAL AVEC VISUAL COMPOSER [DEL03] .....	92
FIGURE 50 : LA PHASE D'OPTIMISATION COLLABORATIVE.....	93
FIGURE 51: MISE EN LIGNE ET RECUPERATION DU CAHIER DES CHARGES INITIAL.....	94
FIGURE 52 : DEFINITION DES CONTRAINTES D'OPTIMISATION POUR LES PARAMETRES D'ENTREE.....	94
FIGURE 53: STRATEGIE DE PRISE DE MAIN SUCCESSIVE.....	96
FIGURE 54 : STRATEGIE DE VERIFICATION AUTOMATIQUE DE LA COHERENCES DES CONTRAINTES.....	97
FIGURE 55: RECUPERATION DE LA LISTE DES CAHIER DES CHARGES A SYNCHRONISER.....	98
FIGURE 56 : PHASE DE DETECTION DES CONFLITS ENTRE LES CONTRAINTES MULTIMETIERS .....	99
FIGURE 57 : MODULE DE VERIFICATION DE COHERENCE.....	99
FIGURE 58 : RESOLUTION DES CONFLITS DES CONTRAINTES COMMUNES .....	100
FIGURE 59 : EXEMPLE DE RELACHEMENT DES CONTRAINTES .....	100
FIGURE 60 : EXEMPLE DE RESSERREMENT DE CONTRAINTES.....	101
FIGURE 61: DEMARCHE DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF DEVELOPPEE.....	102
FIGURE 62: SCENARIO DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF.....	105
FIGURE 63: SCENARIO DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF DU DECLENCHEUR ELECTROMECHANIQUE .....	106
FIGURE 64: PHASE DE LANCEMENT DU PROJET DE DIMENSIONNEMENT A DISTANCE .....	108
FIGURE 65 : EXEMPLE DE CONTRAINTES GEOMETRIQUES DEFINIE A PARTIR DE LA STRUCTURE INITIALE .....	109
FIGURE 66: GLOSSAIRE DES PARAMETRES COMMUNS .....	110
FIGURE 67 : GESTION DES PARAMETRES COMMUNS AYANT LA MEME SYNTAXE .....	111
FIGURE 68 : GESTION DES PARAMETRES COMMUNS ET DE DIFFERENTES SYNTAXES .....	112
FIGURE 69: COMPOSITION DU MODELE GLOBAL.....	112
FIGURE 70: CAHIER DES CHARGES DU CONCEPTEUR ELECTRIQUE.....	113
FIGURE 71 : NEGOCIATION DES CONTRAINTES DES PARAMETRES COMMUNS .....	114
FIGURE 72 : SUIVI DE L'EVOLUTION DU CAHIER DES CHARGES COLLABORATIF .....	114
FIGURE 73: RESULTATS DE L'OPTIMISATION PAR CdiOPTIMSER[MAG 04].....	115
FIGURE 74 : SCHEMA DE PRINCIPE DU DECLENCHEUR A CONCEVOIR.....	123
FIGURE 75 : DEMARCHE D'ANALYSE DES EXPERIENCES DE CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE .....	136
FIGURE 76: CODAGE DES IMAGES PAR VIDEOGRAPHE .....	140
FIGURE 77: REPARTITION DES ACTIVITES PAR CONCEPTEUR, TOUS LES MODES DE MEDIATION CONFONDUS (%).	140
FIGURE 78 : REPARTITION GLOBALE DES ACTIVITES .....	140

FIGURE 79 : CONSTRUCTION COLLABORATIVE DE LA STRUCTURE .....	141
FIGURE 80 : INTEGRATION DES CONTRAINTES PLURIDISCIPLINAIRES .....	142
FIGURE 81 : ANNOTATION ET OBJETS INTERMEDIAIRES POUR LA SYNCHRONISATION COGNITIVE .....	143
FIGURE 82 : CONTRAINTES GEOMETRIQUE ET REPRESENTATION EN 2D ET EN 3D DU PERCUTEUR .....	144

# *LISTE DES TABLEAUX*

TABLEAU 1: UNE ANALYSE DES OUTILS DE COLLABORATION EXISTANTS [RIB01] .....	23
TABLEAU 2: PLANNING DES EXPERIENCES DE LA PREMIERE ANNEE .....	50
TABLEAU 3: PLANNING DES EXPERIENCES DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF ANNEE 2 .....	51
TABLEAU 4: LOGICIELS DE COMMUNICATION ET DE TRAVAIL COLLABORATIF .....	52
TABLEAU 5: LES SPECIFICATIONS POUR UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT .....	66
TABLEAU 6 : DIVERS TYPES DE DONNEES MANIPULEES DURANT CE PROCESSUS .....	76
TABLEAU 7: LES OUTILS UTILISES POUR LE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF DU DECLENCHEUR .....	107
TABLEAU 8 : LES INTERVENANTS DANS LE PROJET COSMOCE .....	135
TABLEAU 9 : LES ACTIVITES .....	137
TABLEAU 10 : EXEMPLES D'ACTIVITES [CoS] .....	138
TABLEAU 11 : LES INTERACTIONS COLLABORATIVES .....	138
TABLEAU 12 : EXTRAITS DE QUELQUES INTERACTIONS ENTRE LES CONCEPTEURS .....	139

# *INTRODUCTION GENERALE*

La conception des produits techniques requiert la participation de plusieurs experts de disciplines différentes et des compétences complémentaires. La conception par projet est apparue depuis quelques années pour permettre la création d'un espace de connaissance partagé entre tous ces intervenants. En plus, la globalisation du secteur industriel pousse l'entreprise à faire appel à des collaborateurs dans les quatre coins du monde pour concevoir, fabriquer, et commercialiser le produit de manière à optimiser le coût, les délais et la qualité des produits. La conception collaborative à distance "via internet" a donc vu le jour pour donner à ce processus plus de compétitivité et de réactivité.

Le dimensionnement représente une phase importante de l'activité de conception en génie électrique. Il consiste à optimiser les caractéristiques géométriques et techniques du produit en fonction des contraintes définies dans le cahier des charges. Dans ce cadre, des problèmes liés à la gestion de l'activité collaborative globale et à la coordination entre les concepteurs sont apparus. En effet, les concepteurs sont amenés à confronter leurs points de vue et à résoudre différents types de conflits d'intérêts. La construction collaborative à distance d'un compromis acceptable par tous est une activité complexe qui nécessite la mise en place d'un processus de d'échange, d'argumentation et de négociation inter-métier.

Dans le but d'assister les concepteurs durant cette activité complexe, nous proposons dans ce mémoire un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif à distance : CoSTo (Collaborative Specification Tool). Il s'agit du résultat d'une démarche originale dans le domaine du génie électrique qui consiste à analyser les besoins des concepteurs dans des situations réelles de co-conception. En effet, notre travail s'intègre aussi dans le cadre d'un projet de la région Rhône-Alpes (COSMOCE) regroupant plusieurs collaborateurs de disciplines et de compétences différentes (génie électrique, génie mécanique, génie industriel, informatique, sciences cognitive...) pour le développement des pratiques et des outils d'aide à la conception collaborative à distance.

Cet environnement s'appuie aussi sur une démarche de dimensionnement sous contraintes telle qu'elle est développée au laboratoire d'électrotechnique de Grenoble. Il a été

spécifié et développé pour fonctionner en synergie avec l'ensemble d'outils de CAO développés au sein de notre laboratoire et parallèlement à des outils de communication audiovisuelle adaptée à une telle situation. CoSTo apporte par ses différentes fonctionnalités et la démarche d'optimisation globale qu'il instrumente une aide pour gérer et intégrer les interdépendances inter-métier.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres durant lesquelles nous allons de l'analyse théorique et expérimentale de l'activité (chapitres 1 et 2) à la spécification et la réalisation d'un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif via internet (chapitres 3 et 4). Le premier chapitre est consacré à la définition du contexte de nos travaux de recherche. Nous commençons par la caractérisation de l'activité de conception collaborative étudiée. Nous présentons aussi quelques concepts théoriques issues de l'état de l'art que nous utiliserons par la suite pour analyser cette activité. Ensuite, nous présentons l'activité de dimensionnement, selon l'approche du laboratoire d'électrotechnique de Grenoble, sur laquelle nous allons nous appuyer. Nous terminons ce chapitre par la définition de nos objectifs et de la démarche que nous avons choisie pour y parvenir.

Dans le deuxième chapitre, l'analyse des observations effectuées durant les expériences de conception collaborative à distance nous conduit à déterminer un ensemble de besoins à satisfaire pour assister les concepteurs. En effet, la première partie de ce chapitre est consacrée à la présentation des expériences, des différents moyens et des ressources mises à notre disposition pour l'analyse des besoins des concepteurs chargés du dimensionnement via internet d'un déclencheur électromécanique. L'analyse des observations effectuées nous emmène à la spécification des besoins à satisfaire et à la proposition de quelques fonctionnalités d'un environnement d'aide adapté.

Le troisième chapitre est dédié à la présentation des fonctionnalités de l'environnement logiciel d'aide au dimensionnement que nous avons développé à partir des fonctionnalités définies précédemment. Nous commençons par la présentation d'une démarche de dimensionnement pour l'intégration des contraintes multi-métiers et l'optimisation globale de la structure. Elle se compose principalement de deux phases: une phase de modélisation et une phase d'optimisation collaboratives. Nous détaillerons par la suite les différentes facettes de l'environnement logiciel "CoSTo" que nous avons développé pour assister les concepteurs durant ces deux phases : la représentation des données, l'architecture et les fonctionnalités. Nous concluons par la présentation de deux scénarios d'utilisations.

Le dernier chapitre correspond au déroulement d'un scénario de dimensionnement collaboratif avec CoSTo. Il permet de mettre en évidence les apports de cet environnement surtout en terme de gestion des interdépendances et de détection de conflit entre les différents groupes métiers d'un projet de conception collaborative à distance.

Nous terminons ce mémoire par des conclusions issues de notre travail ainsi que par la proposition de perspectives envisagées dans le but de prolonger ces travaux de recherche.



# *CHAPITRE I*

---

## *CARACTERISATION DE LA CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE*

---

# ***CHAPITRE I***

## ***CARACTERISATION DE LA CONCEPTION COLLABORATIVE A DISTANCE***

### ***Introduction***

Ce premier chapitre est dédié à la caractérisation de l'activité de conception collaborative de manière générale. Il s'agit ici d'une synthèse de l'état de l'art de cette activité et de ses différents problèmes.

Nous commençons donc, par la définition du contexte global de ce travail de thèse en caractérisant l'activité de conception étudiée. Ensuite nous présentons quelques approches de conception collaborative. Nous terminons cette partie par la présentation de la problématique étudiée: la conception collaborative pluridisciplinaire à distance "via internet".

Dans la troisième partie de ce chapitre, nous présentons quelques concepts théoriques importants sur lesquels nous allons nous baser pour analyser l'activité étudiée.

Nous consacrons la partie suivante de ce chapitre à l'étude d'une phase spécifique de l'activité de conception: le dimensionnement. Nous nous appuyons pour cela sur l'approche de dimensionnement du laboratoire d'électrotechnique de Grenoble.

Nous terminons cette étude par la présentation de notre contexte de recherche, de nos objectifs et de l'approche que nous avons choisie pour y parvenir.

### **I. L'activité de conception**

#### ***I.1. La conception : une activité cognitive complexe***

La phase de conception est une phase très importante dans le cycle de vie d'un produit. Les décisions prises par les concepteurs vont engager environ 70% du coût du produit final [Pru00], [Bel00]. Il s'agit aussi d'une phase complexe durant laquelle plusieurs types de contraintes sont à gérer. En effet, le concepteur doit à la fois respecter les contraintes liées aux caractéristiques du produit définies par le client, les contraintes liées au processus de fabrication ainsi que d'autres contraintes industrielles telles que les contraintes des fournisseurs et des sous-traitants en plus des contraintes externes telles que les contraintes écologiques, géopolitiques...

Le respect de toutes ces contraintes et l'aboutissement vers une solution acceptable dépend des connaissances du concepteur, de sa compétence et de son expérience [Bra89].

Il s'agit donc d'une activité cognitive complexe dont la place principale est occupée par le concepteur humain qui doit gérer plusieurs contraintes contradictoires et trouver le compromis optimal.

### ***1.2. Une conception routinière***

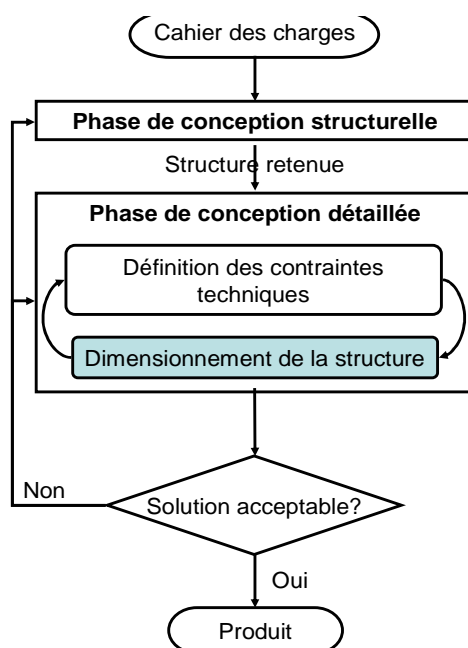
Diverses typologies de l'activité de conception ont été définies dans la littérature [Bel02], [Lau00], [Amm03] parmi lesquelles nous citons :

- La conception innovante qui consiste à créer un nouveau produit pour répondre au besoin exprimé par le client.
- La conception routinière qui consiste à modifier un produit déjà existant pour répondre aux nouvelles exigences formulées par le client.
- La conception par assemblage qui permet d'obtenir un nouveau produit à partir des divers modules préexistants.

Dans ce mémoire, nous nous limitons à l'étude de la conception routinière qui a comme principal objectif d'optimiser les caractéristiques d'un produit existant pour satisfaire les nouvelles exigences du client.

### ***1.3. Une phase de la conception détaillée : le dimensionnement***

L'activité de conception se compose principalement de deux phases importantes : la phase de conception structurelle et la phase de conception détaillée (voir figure1).



**Figure 1 : Les phases du processus de conception**

Durant la phase de conception structurelle, le concepteur analyse le cahier des charges et les différentes contraintes avant d'aboutir à une structure acceptable. Le concepteur doit par la suite, pendant la phase de conception détaillée, déterminer les différentes caractéristiques physiques et géométriques optimales du produit de telle manière à garantir un coût minimal, une bonne qualité et un délai de fabrication réduit du nouveau produit. L'optimisation de la structure retenue peut se faire selon différentes approches. Dans le cadre de ce mémoire, nous présentons celle utilisée au sein de l'équipe conception et dimensionnement intégrées du laboratoire d'électrotechnique de Grenoble. Il s'agit ici d'une approche de pré-dimensionnement à base de modèle analytique et d'optimisation que nous détaillerons plus loin.

## II. La conception collaborative à distance

Pour faire face aux nouveaux besoins du marché, les concepteurs sont amenés à concevoir des systèmes et des produits de plus en plus complexes qui requièrent la collaboration de plusieurs experts de domaines physiques différents. Une nouvelle organisation de la conception par projet [Rou99] a vu le jour pour permettre aux différents intervenants de travailler ensemble avec plus de réactivité.

De plus, pour s'adapter au contexte industriel mondial et respecter les contraintes économiques de production au moindre coût et avec une meilleure qualité, il est devenu indispensable de faire collaborer des concepteurs de compétences différentes travaillant dans des locaux différents et des structures économiques différentes. L'évolution des technologies de télécommunication et l'émergence de l'utilisation d'Internet ont facilité l'apparition d'une nouvelle activité de conception : *la conception collaborative à distance « via internet »* (voir figure 2).

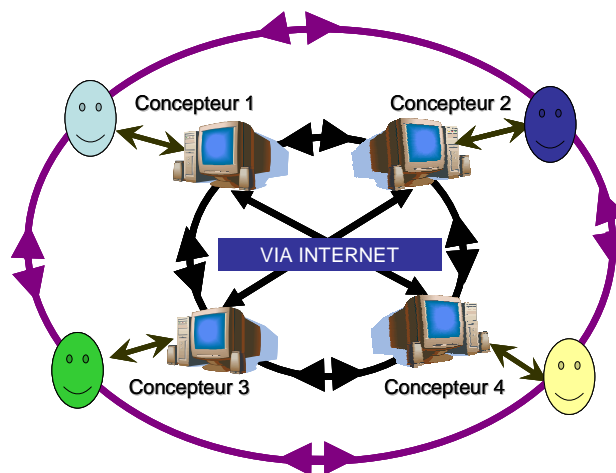


Figure 2 : Conception collaborative à distance

## II.1. Quelques approches de la conception collaborative

Dans le cadre d'une telle activité collaborative, la tâche globale est divisée en sous-tâches par domaine de compétence relativement à chaque concepteur ou expert métier. Chaque concepteur est donc chargé de concevoir une partie de la structure tout en veillant d'un côté au respect des contraintes définies dans le cahier des charges et d'un autre côté à la cohérence globale de la solution. Différentes approches de conception collaborative ont été présentées dans la littérature, parmi lesquels nous citons : l'approche séquentielle [Pah96] et l'approche parallèle [Bri96].

### II.1.1. L'approche de conception séquentielle

Dans l'approche séquentielle, le processus de conception se compose en différentes phases itératives et complètement séquentielles. Le passage à une étape suivante nécessite l'achèvement complet de l'étape en cours. Les concepteurs d'une étape (en cours de réalisation de celle-ci) n'échangent pas avec ceux des autres étapes. Les communications ne se font que lorsqu'on passe d'une étape à l'autre (voir figure 3). Ainsi, en cas de problème, le dossier de conception retourne à l'étape précédente et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'une solution acceptable par tous les concepteurs. Cela entraîne des délais de réaction qui alourdissent cette approche et la rend très problématique. Les allers-retours entre les différentes phases, pour de la consultation, de la validation ou de la modification, multiplient les itérations et rajoutent des contraintes supplémentaires de cohérence difficiles à assurer.

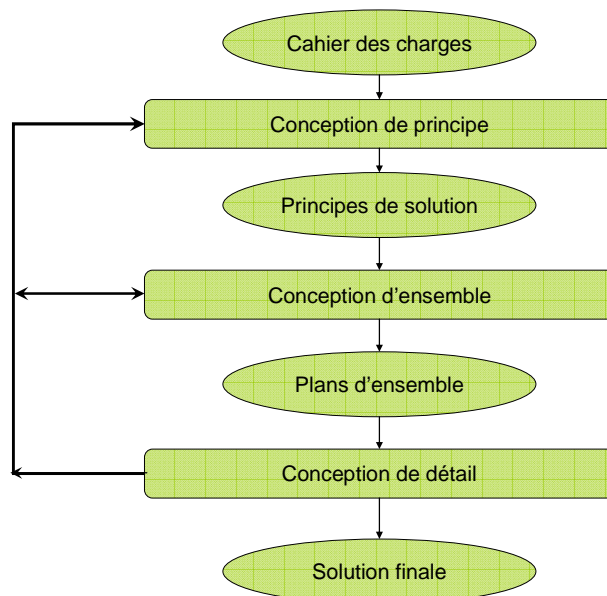


Figure 3: L'approche de conception séquentielle

### II.1.2. L'approche de conception parallèle

L'approche de conception parallèle est apparue dans le but de minimiser le temps de réaction entre les différentes phases de la conception collaborative séquentielle et d'assurer plus de cohérence [Bel02], [Bri96]. Selon cette approche, une phase de conception démarre dès que toutes les données qui lui sont indispensables sont disponibles (voir figure 4). Les concepteurs démarrent simultanément plusieurs étapes de conception. De plus, cette organisation permet d'intégrer au plus tôt les différents points de vue de tous les acteurs du projet.

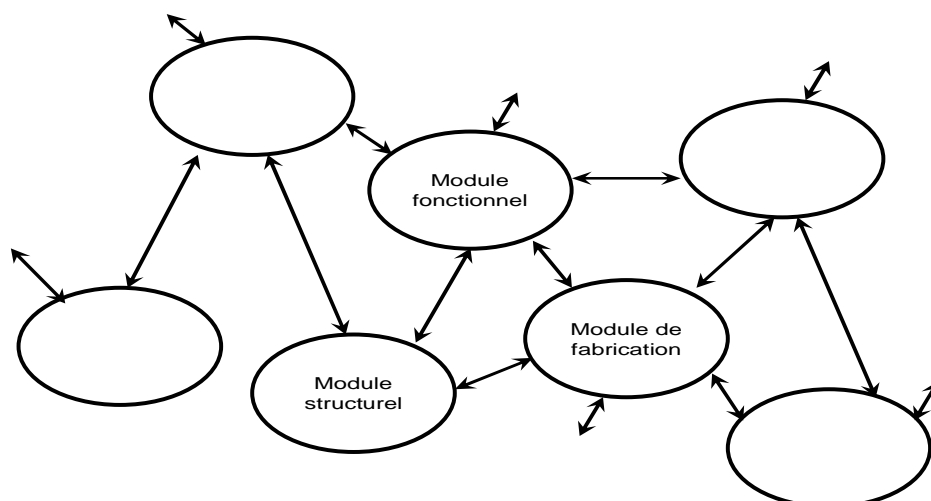


Figure 4: Processus de conception parallèle [Bri96]

Parmi les différentes approches de conception parallèle que nous avons trouvées dans la littérature, la plus célèbre d'entre elles est la conception intégrée « concurrent engineering ». Elle représente une nouvelle forme organisationnelle de l'activité de conception collaborative. Dès la conception jusqu'à la mise sur le marché du produit, les différents concepteurs et intervenants sont regroupés dans un même site géographique pour constituer un « plateau projet » [Eyn99].

### II.2. Les outils de travail collaboratif

Dans ce contexte collaboratif pressant et vu la standardisation d'internet, divers outils de communication ont vu le jour depuis quelques années pour satisfaire ce besoin de communication à distance et indépendamment du temps et de l'espace. Le processus de conception a été aussi assujéti à ce besoin d'échanger rapidement divers types d'informations et à partager entre collaborateurs plusieurs outils métiers de CAO et à s'adapter à cette nouvelle organisation mondiale distribuée.

### *II.2.1. Les outils de communication classique*

Il s'agit ici des différents outils de communication classiques via internet permettant le transfert de divers types d'informations de différentes manières. Il peut s'agir ici d'outils tels que le courrier électronique, les forums ou salles de discussion et les messageries instantanées. D'autres permettent le transfert de fichiers via FTP, les SGDT (Systèmes de Gestion des Données Techniques), la visioconférence, le partage du tableau blanc voir même par le partage d'applications ou de base de données communes...

Certains d'entre eux permettent d'envoyer (de manière synchrone ou asynchrone) des données techniques structurées alors que d'autres sont réservés à l'échange de données non structurées ou simplement au dialogue informel. Les données échangées peuvent varier de l'information textuelle à l'échange d'image en 2D ou en 3D [Rib02].

Plusieurs logiciels commerciaux non dédiés à la conception et qui regroupent un ou plusieurs de ces outils dans un environnement collaboratif cohérent sont très répandus : Netmeeting [Net], Sametime [Sam], MsnMessenger [MSN], LearningSpace [Ler], Arel [Are], Centra [Cen] et peuvent être utilisés dans le cadre de l'activité de conception collaborative.

### *II.2.2. Les outils de collaboration*

Il s'agit ici d'outils qui ont été conçus pour être utilisés dans le cadre de l'activité de conception collaborative par internet de produits techniques. Ils offrent aux concepteurs un cadre virtuel pour travailler ensemble et partager les différentes données nécessaires à la conception du produit. Quelques outils ont été développés [Ben02], [Rib02] mais qui sont réservés au domaine de l'ingénierie mécanique ou la conception automobile. Ils ont été classifiés dans [Rib01] (voir tableau 1) selon plusieurs critères :

- La technologie utilisée
- La possibilité d'interaction avec la géométrie du produit à concevoir
- Les moyens de collaboration
- La gestion des documents
- La gestion du projet

**Tableau 1: une analyse des outils de collaboration existants [Rib01]**

Logiciels	Technologie				Géométrie 3D				Collaboration					Documents			G.projet			
	Application dédiée	Via navigateur	ASP	P2P	Modèle propriétaire	Visualisation	Manipulation	Annotations	Chambre de discussion	Forum	Tableau blanc	Messages privés	Visio-conférence	Partage inter-applications	Archivage	Versionnement	Résolution de conflits	Module de G.P.	Capitalisation	Gestion de droits d'accès
One Space	x	x				x		x	x		x	x								x
Centric	x	x			x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	x	x	x
Alibre	x		x		x	x	x		x	x		x			x	x	x	x		x
Reality Wave		x			x	x	x	x				x								
Groove		x		x		x	x	x	x			x				x	x	x	x	x
E-Vis		x				x		x	x	x	x	x			x	x	x	x		x
Informative Graphics		x				x				x					x					
Nexprise						x		x	x				x		x	x	x	x	x	x
Co	x			x										x						

### ***II.3.Problématique de la conception collaborative à distance***

La conception collaborative à distance permet de faire coopérer des concepteurs de disciplines et de compétences différentes sur différents sites géographiques pour faire face aux enjeux économiques d'optimisation du coût, des délais et de la qualité des produits techniques à concevoir.

Cependant, cette architecture a permis de mettre en évidence la dimension humaine et sociale de la conception. En effet, pour obtenir une solution satisfaisante, les concepteurs doivent travailler en étroite collaboration. Ils doivent tout au long de ce processus échanger des informations par rapport à leurs tâches respectives, exprimer leurs points de vues, résoudre différents conflits d'intérêts et trouver des compromis pour aboutir à une solution satisfaisante. Cette activité devient plus problématique surtout avec les divergences des points de vues des concepteurs de disciplines différentes et travaillant à distance.

Malgré l'existence de divers outils de travail collaboratif permettant la visioconférence et le transfert des données, nous n'avons pas pu trouver d'outils dédiés à la conception (dans



le domaine du génie électrique) et plus précisément à l'activité du dimensionnement collaboratif par internet.

Offrir une aide adaptée aux besoins des concepteurs durant cette activité, devient indispensable selon notre point de vue : un environnement logiciel d'aide au dimensionnement collaboratif à distance sera donc proposé au terme de ce travail. Il permettra d'offrir une aide méthodologique adaptée pour permettre aux concepteurs d'obtenir une solution cohérente et acceptable par tous.

### **III. Concepts théoriques cognitifs importants**

Nous avons caractérisé au début de ce chapitre l'activité de conception comme étant une activité cognitive et humaine. Une dimension sociale lui est aussi ajoutée, vu le besoin de collaboration entre acteurs de domaines physiques et de compétences différentes. Nous allons donc maintenant présenter des concepts théoriques importants liés à ces dimensions.

#### ***III.1. Nature et dynamique des connaissances***

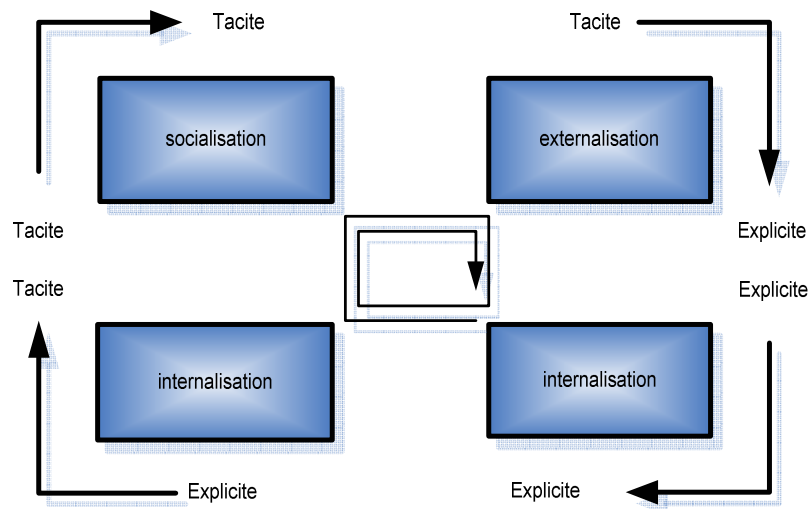
##### ***III.1.1. Le savoir et le savoir-faire***

Le savoir et le savoir faire sont deux notions distinctes liées à la nature des connaissances. Il s'agit dans les deux cas de deux types de connaissances dynamiques qui résultent du processus cognitif de l'individu qui les détient. Plusieurs spécialistes de l'ingénierie des connaissances tels que Nonaka & Takeushi [Non95], Grundstein [Gru01] distinguent entre ces deux notions complémentaires :

Le savoir, ou selon Grundstein [Gru03] « *les connaissances explicites* », regroupe selon notre point de vue, l'ensemble des connaissances déclaratives, sans aucun rapport avec l'action. Il est explicitable par l'usage des symboles ou des codes [Cha04], tels que les lois de la physique, les normes...

Le savoir-faire, ou « *les connaissances implicites ou tacites* », présente l'ensemble des connaissances opératoires et procédurales [Tro99] qui sont difficilement explicitables. Il est acquis par l'acteur humain par l'expérience et il augmente au fil du temps tel que les talents et les secrets de métiers [Cha04].

Une conversion dynamique entre ces deux types de connaissance est possible. Elle a été décrite par Nonaka et Takeushi [Non95] selon quatre modes de conversion permettant ainsi l'évolution et la transmission des connaissances dans d'une activité collaborative ou individuelle au sein d'une organisation (voir figure5).



**Figure 5 : Le cycle de création de la connaissance [Non95]**

### III.1.2. Le formel et l'informel

Il s'agit d'une typologie des données ou des informations manipulées au cours de l'activité de conception. La distinction entre ces deux notions ne se base pas uniquement sur le caractère structuré ou pas d'information. Elle se base sur la notion de consensus et de protocole.

Le formel est l'ensemble des informations structurées produites selon un protocole prédéfini validant le type de l'information transmise. Plusieurs types de données ou d'objets formels sont manipulés au cours de l'activité de dimensionnement tels que les modèles analytiques ou numériques et les composants logiciels [Del03];

L'informel est donc l'ensemble des informations qui sont produites sans aucun consensus ou protocole. Différents objets ou informations de natures informelles sont aussi utilisées dans cette activité tels que les annotations d'un document technique, un croquis sur un tableau blanc ou même une discussion informelle lors d'un échange de point de vue entre les différents concepteurs.

Au cours de l'activité de conception, les concepteurs ont besoin de ces deux types d'informations. Les informations formelles pour échanger et partager leurs modèles, leurs cahiers des charges, des dessins techniques, etc. Ces documents vont engendrer à travers les annotations, les discussions informelles et les explications, divers documents évolutifs et objets intermédiaires [Bou03] qui aident à définir et à affiner le produit à concevoir.

### ***III.2. Caractérisation des échanges d'information***

Les échanges informationnels jouent un rôle important dans le processus de dimensionnement à distance. Dans ce cadre, nous distinguons entre les échanges synchrones/asynchrones et les échanges intra et inter-métiers.

#### ***III.2.1. Les échanges synchrones et asynchrones***

Les échanges informationnels entre plusieurs concepteurs sont qualifiés de synchrones si ils s'effectuent au même moment, ou si le temps de réponse entre une requête formulée est réduit voir nul, par exemple cela concerne:

- les discussions « face à face » en réunion de travail localisé.
- Les discussions électroniques, via des outils de chat,
- Les discussions vocales dans une conférence téléphonique...

Ils seront qualifiés d'asynchrone si un laps de temps relativement important s'écoule entre les deux échanges.

#### ***III.2.2. Les échanges inter et intra-métiers***

Le dimensionnement collaboratif d'un produit technique nécessite la participation de plusieurs acteurs de métiers différents (inter-métiers) voire plusieurs acteurs d'un même métier mais ayant diverses compétences (intra-métier).

La notion de "métier" suppose que deux concepteurs d'un même métier partage une même culture professionnelle et des référentiels communs. Cependant, ils peuvent avoir des compétences différentes telles que deux électriciens ayant par exemple des compétences en machine électrique pour l'un et en électronique de puissance pour l'autre ; ceux-ci doivent par exemple travailler ensemble pour la conception et le dimensionnement optimal en perte/rendement d'un entraînement avec une machine asynchrone. Les discussions et les échanges informationnels entre eux sont donc qualifiés d'échanges intra-métiers.

Par ailleurs, les discussions entre un électricien et un concepteur chargé de la fabrication mécanique sont de types inter-métiers puisqu'ils appartiennent à deux métiers distincts.

### ***III.3. Les approches collaboratives***

Dans le cadre de cette activité multidisciplinaire, la finalité globale de l'activité est divisée en autant d'objectifs que de concepteurs [Sar00]. Différents modes de gestion ou de coordination sont possibles. Même si la finalité globale de l'activité est garantie par le cahier des charges, le moyen d'y parvenir reste au libre choix des concepteurs. Parmi ces modes, nous distinguons la collaboration et la coopération.

### III.3.1. La collaboration

Selon le petit Larousse [Lar], collaborer consiste à « travailler avec d'autre ». Il s'agit d'une action en commun où chaque partenaire trouve son compte sans aucune garantie de cohérence des objectifs respectifs. Ainsi, l'usage du terme de conception *collaborative* sous-entend pour nous que les concepteurs, chacun de leur côté, essayent d'atteindre leurs objectifs respectifs sans se préoccuper des conflits éventuels. Une composition des solutions trouvées par chacun des concepteurs devrait permettre, après vérification et validation, de trouver une solution globale.

### III.3.2. La coopération

L'action de coopérer est définie selon le petit larousse [Lar], comme étant l'action d'agir conjointement avec quelqu'un. Il s'agit pour nous de l'action de participer activement avec une autre personne pour la réalisation d'un même objectif ou finalité.

L'activité de conception coopérative peut être caractérisée selon [Bou01], [Rui05] par quatre cadres de coopération (voir figure 6) :

- le cadre spatial englobant les dispositifs techniques qui permettent de réunir les concepteurs.
- le cadre organisationnel permettant de définir le processus d'animation de l'action coopérative.
- le cadre temporel qui permet de définir un planning projet de l'activité.
- le cadre conceptuel qui permet aux concepteurs de se comprendre mutuellement et produire collectivement.

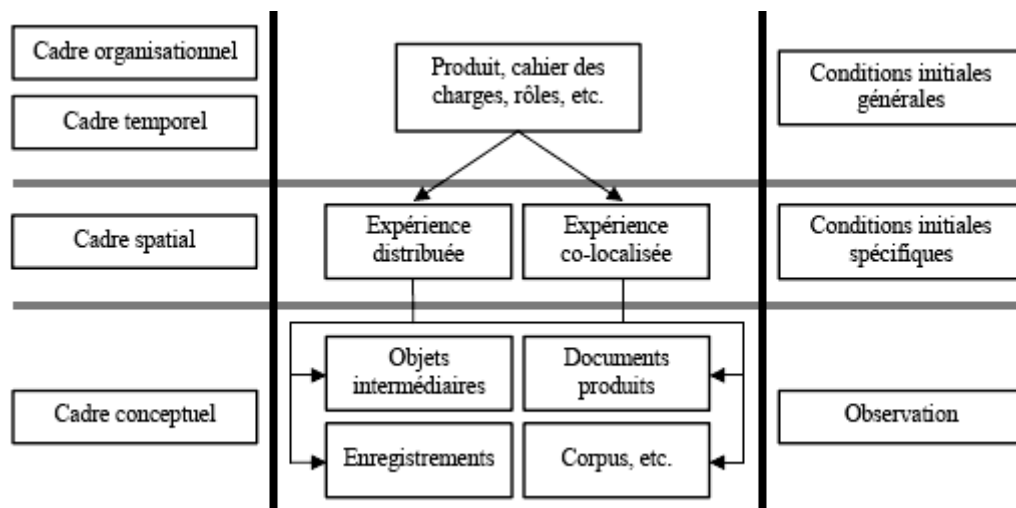


Figure 6: Les cadres de la coopération en conception d'après [Rui 05 ]

Le terme de conception collaborative est ici utilisé pour décrire l'activité de conception collective multidisciplinaire sans pour autant décrire le mode de gestion de celle-ci. La

distinction entre coopération et collaboration sera effectuée par la suite pour nous aider à caractériser deux approches différentes pour le pré-dimensionnement de structures techniques.

### ***III.4. La synchronisation cognitive***

Le concept de synchronisation cognitive est issu des travaux d'ergonomie cognitive et de sciences humaines et sociales qui étudient la conception depuis des années [Dar04], [Det04]. La synchronisation cognitive est considérée comme une phase très importante du processus de conception. Les concepteurs ont généralement des cultures métiers différentes et des logiques de raisonnements différentes. Ils essayent à travers leurs échanges d'informations d'expliquer leurs différents points de vue, de formaliser leurs connaissances en concepts compréhensibles par les autres. Divers objets "intermédiaires" [Jan98], [Bou03] évolutifs sont donc manipulés à cet effet, tout au long de ce processus, tels que les équations mathématiques et physiques, les schémas, les dessins ... Ils sont constamment annotés, modifiés par les différents concepteurs et utilisés comme support de discussion pour comprendre ou se faire comprendre. La synchronisation cognitive permet donc de construire un espace de connaissance partagé indispensable pour résoudre les conflits d'intérêt et trouver des compromis.

## **IV. Le dimensionnement en génie électrique**

Nous consacrons cette partie à la caractérisation de l'activité de dimensionnement par l'optimisation dans le domaine du génie électrique. Il s'agit, comme nous l'avons déjà précisé plutôt, d'une activité de la phase de la conception détaillée. Les concepteurs doivent donc dans ce cadre, optimiser les caractéristiques et les dimensions de la structure préalablement définie tout en respectant le cahier des charges.

Différentes approches de dimensionnement sont possibles. Nous allons, dans la suite de ce chapitre, présenter une approche d'optimisation telle qu'elle est développée au sein de l'équipe conception et dimensionnement intégrés du Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble.

### ***IV.1. Le dimensionnement préliminaire des structures***

A partir de la structure définie durant la phase de conception fonctionnelle/structurelle, les concepteurs doivent durant la phase de conception détaillée, définir les différentes caractéristiques fines du produit qui répondent aux différentes contraintes du cahier des charges. En effet, plusieurs outils logiciels d'optimisation et de modélisation permettent de

dimensionner de manière précise et fine la structure. Ils se basent généralement sur des méthodes de calcul numérique assez longues. Dans le but de minimiser le temps de calcul, les concepteurs commencent généralement par une phase de dimensionnement préliminaire durant laquelle ils négocient leurs contraintes et trouvent des compromis acceptables par tous. Une fois toutes les contraintes satisfaites, et après analyse et validation, les concepteurs peuvent désormais affiner la solution à travers différentes approches de dimensionnement et d'optimisation basées sur des outils de calcul numérique (voir figure 7). Nous allons dans la suite de ce mémoire, nous focaliser sur la phase du dimensionnement préliminaire. En effet, la recherche d'une première solution qui satisfasse les contraintes de tous les intervenants représente un aspect pluridisciplinaire intéressant.

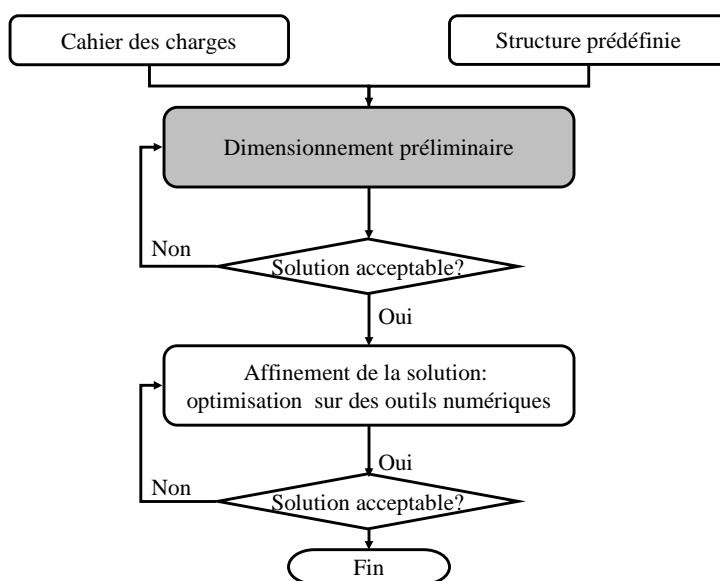


Figure 7 : Le processus de dimensionnement

#### IV.2. Les phases du pré-dimensionnement

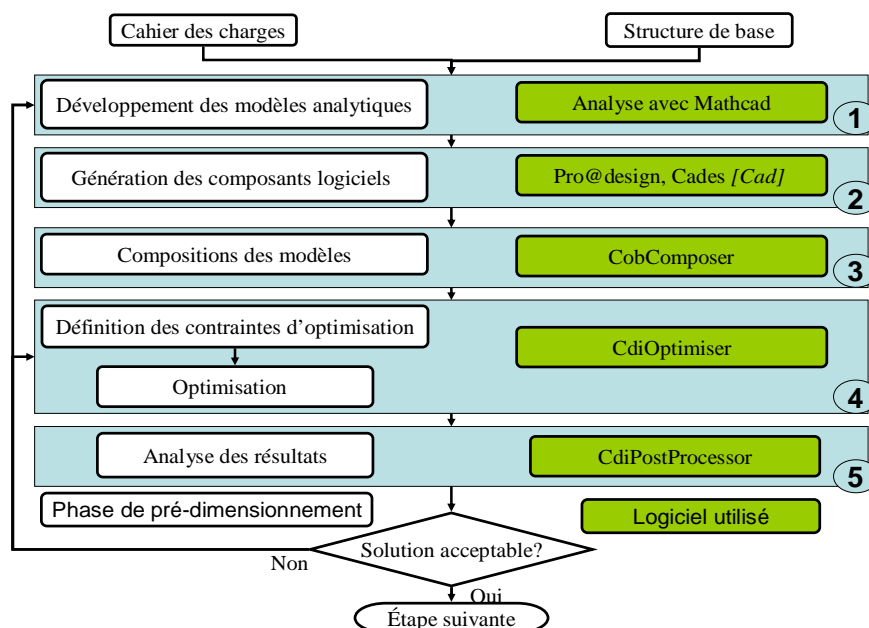
Nous allons dans cette partie présenter une approche de dimensionnement préliminaire telle qu'elle est développée au sein de l'équipe conception et dimensionnement intégrés du Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble. Différents outils logiciels d'aide au dimensionnement ont été conçus pour assister le concepteur dans cette phase [Del03], [Bel00], [Dem04]... Nous vous présentons donc dans le paragraphe suivant, à la fois la démarche et les différents outils logiciels sur lesquelles nous allons nous appuyer dans la suite pour le dimensionnement.

Cette approche consiste, à partir de la structure préalablement définie, à créer un composant logiciel qui encapsule le modèle de dimensionnement du produit à concevoir. En s'appuyant sur les outils métiers spécifiques, le concepteur essaye d'explorer l'espace des

solutions pour trouver une solution relativement optimale et qui respecte les différentes contraintes imposées.

Cette approche se compose de plusieurs phases (voir figure 8) :

- la modélisation de la structure en vue de son dimensionnement ;
- la génération de composant logiciel de calcul ;
- la définition des cahiers des charges pour l'optimisation ;
- l'optimisation sous contraintes ;
- L'analyse et la visualisation des résultats.



**Figure 8 : Les phases de dimensionnement préliminaire par l'optimisation**

#### IV.2.1. Phase de modélisation analytique

Le concepteur commence par une phase d'analyse et de modélisation de la structure retenue. Plusieurs outils logiciels d'analyse et de simulation numérique sont disponibles pour l'accompagner. L'approche de modélisation que nous discutons ici et sur laquelle nous nous sommes appuyées repose sur des modèles analytiques.

Durant cette phase, le concepteur doit développer un modèle analytique qui peut contenir différents types d'informations relatives au produit à concevoir. Pour élaborer ce modèle, le concepteur peut être conduit à s'appuyer sur l'utilisation d'outils de calcul numérique plus ou moins lourds tels que Flux [Flu], Saber, Spice... Le modèle peut être constitué d'équations pour calculer les caractéristiques physiques. Ces différentes caractéristiques peuvent relever de plusieurs domaines physiques tels que le magnétisme, la thermique, le génie mécanique, etc. Il peut aussi contenir des critères exprimant des contraintes géométriques pour l'optimisation des dimensions de la structure ainsi que des

informations économiques permettant de définir des contraintes sur le coût. Pour mettre au point son modèle, le concepteur utilise ici Mathcad [*Mat*] permettant de l'analyser et de le tester (voir Annexe II).

#### *IV.2.2. La phase de génération du composant logiciel de calcul*

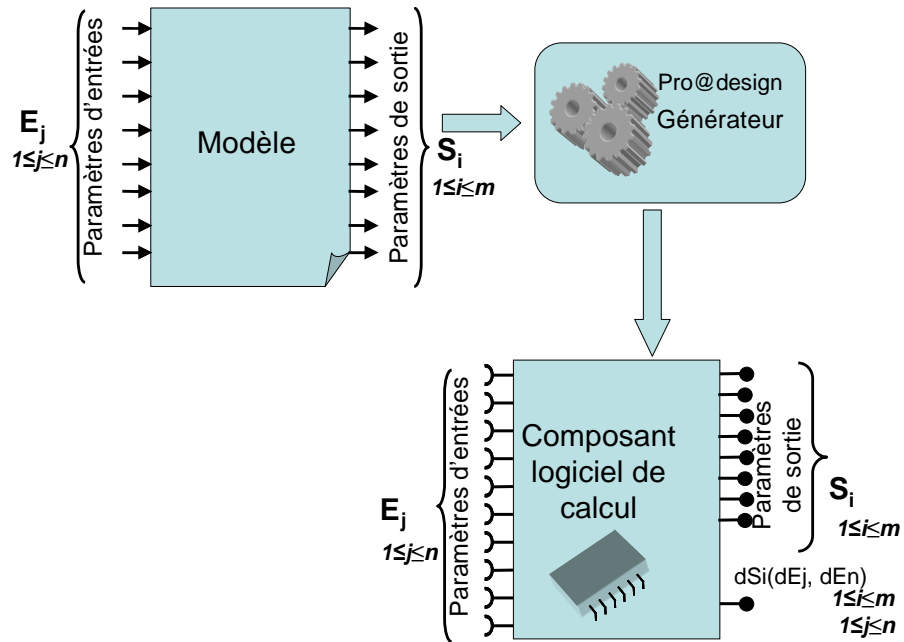
Un composant logiciel de calcul est une entité informatique permettant le déploiement d'une manière autonome du code informatique qu'elle encapsule [*Del03*], [*Szy98*]. Cette notion est apparue vers les années 90 par analogie à la notion de composant électronique pour permettre l'utilisation sécurisée des bouts de code informatique qu'elle contienne, pour la composition avec d'autres composants logiciels pour obtenir un macro composant.

Il fournit à travers ses interfaces d'utilisation, l'ensemble des services qu'il rend, et tout ce dont il a besoin pour fonctionner [*Fis04*]. Le fonctionnement de ce composant dépend de la manière avec laquelle il est connecté à d'autres composants. Cela permet donc la réutilisation du code informatique encapsulé, dans de nouvelles applications, d'une manière qui peut être totalement transparente.

Pour le dimensionnement, un composant logiciel de calcul reprend un modèle de dimensionnement et permet à partir de ses entrées, de fournir au moins ses sorties. Il suffit à cet effet de pouvoir déterminer ses méthodes pour déterminer la liste de ses paramètres d'entrée et de ses paramètres de sortie.

La génération du composant logiciel de calcul peut être assurée par différents outils de génération durant une phase de travail asynchrone dans les métiers. Il existe différentes normes de génération telles que la norme ICAR [*Del06*] ou la norme, Cob (Computational Object). Dans ce travail, pour générer les composants logiciels de calcul, nous avons utilisé pro@design generator [*Ati03*] qui encapsule les modèles selon la norme Cob. Il fournit les sorties du modèle en fonction de ses entrées. Si besoin, les différentielles peuvent être fournies pour calculer des gradients si les algorithmes d'optimisation le requièrent (exemple: les algorithmes déterministes avec gradient) (voir figure9).





**Figure 9: Architecture d'un composant logiciel**

En complément, des outils logiciels implémentant des services sur ces composants ont été développés pour permettre :

- le calcul des sorties en fonction des entrées [*Fis04*]
- l'optimisation sous contraintes [*Mag04*]
- le postprocessing pour l'analyse des résultats de l'optimisation.

#### *IV.2.3. La composition des modèles*

Il est parfois indispensable de combiner plusieurs modèles pour dimensionner certaines structures complexes. Les différents composants de calcul encapsulant ces différents modèles doivent être connectés les uns aux autres pour construire un macro-composant représentant le modèle global. Un outil logiciel mono-acteur a été conçu dans les travaux de thèse de Benoît Delinchant pour cette composition [*Del03*]. Le concepteur prend en compte la gestion des différentes interdépendances qui existent entre les composants en proposant de connecter les entrées et les sorties communes. Dans la suite de cette composition, l'utilisateur complète et valide les connexions pour obtenir un modèle global donnant un macro composant logiciel (voir figure 10).

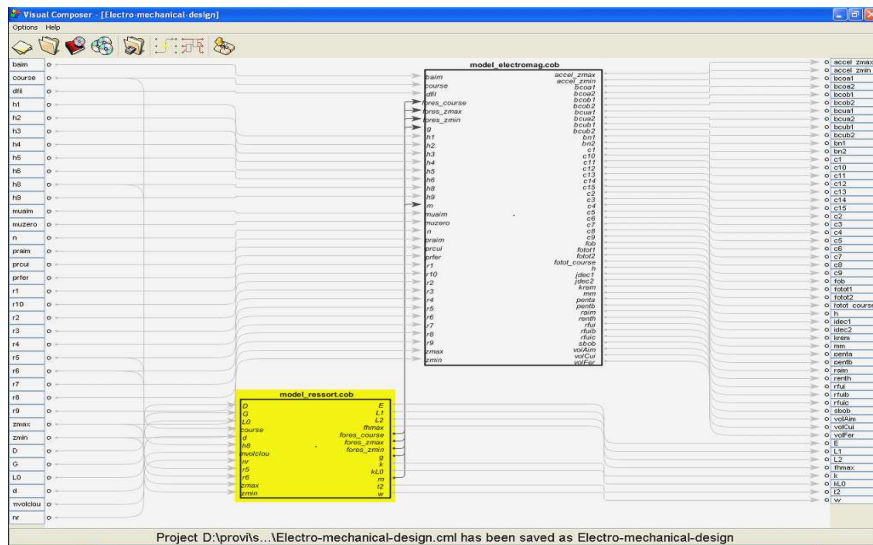


Figure 10: Macro Composant du modèle global [Del 03]

#### IV.2.4. La phase d'optimisation sous contraintes

A partir de l'analyse du cahier des charges initial, le concepteur doit définir un jeu de valeurs acceptables sur chacun des paramètres d'entrée et de sortie à optimiser. Pour chaque paramètre d'entrée, il doit donc choisir entre le contraindre dans un intervalle acceptable ou le fixer à une valeur déterminée [Amm06-a].

Pour les paramètres de sortie, le concepteur peut choisir de ne pas contraindre certains paramètres, ils ne seront donc pas à optimiser. Pour les paramètres à optimiser, il peut choisir de les contraindre à une valeur fixe ou à un intervalle acceptable. Il doit en plus définir une fonction objective à minimiser ou à maximiser.

L'ensemble des contraintes définies sur tous les paramètres d'entrée et de sortie du composant à optimiser va constituer ce que nous appelons le cahier des charges pour l'optimisation.

L'optimisation sous contraintes est une phase de résolution de problème inverse [Wur96], [Cou99] qui consiste à trouver dans l'espace de faisabilité un jeu de valeurs optimal tout en tenant compte des objectifs à atteindre et des contraintes définies sur les paramètres d'entrées et de sorties. Le concepteur s'appuie pour cela sur différents outils logiciels et algorithmes d'optimisation. Dans notre cas, nous nous appuyons sur l'outil mono-acteur CdiOptimiser [Mag04] dont le fonctionnement général de l'optimisation est illustré par la figure 11.

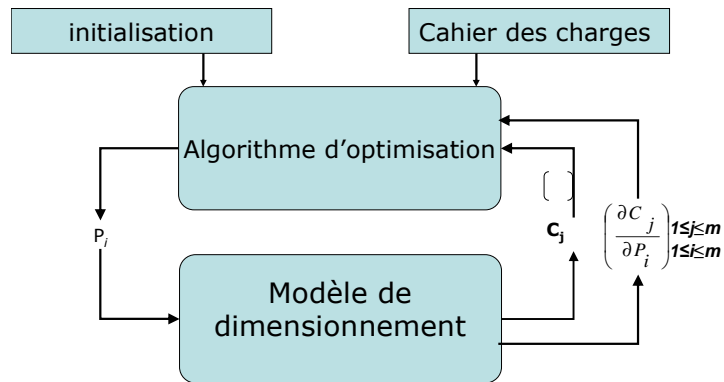


Figure 11 : le fonctionnement général de l'optimisation [Fis04]

#### IV.2.5. L'analyse et la visualisation des résultats de l'optimisation

La phase d'analyse des résultats est une phase très importante dans le processus de dimensionnement sous contraintes. Durant cette phase, le concepteur confronte les hypothèses qu'il a définies dans le cahier des charges avec les résultats de l'optimisation. Un outil d'analyse et de visualisation des contraintes au fil des itérations a été prévu à cet effet. Il lui permet d'analyser les différentes valeurs des contraintes au cours des itérations. Il est aussi équipé d'un module géométrique qui lui permet d'afficher l'évolution géométrique de la structure (voir figure 12). Dans le cas où aucune solution n'a été trouvée, le concepteur analyse les contraintes qui n'ont pas été respectées et les modifie en conséquence. Il peut dans ce cas agrandir l'espace des solutions en relâchant quelques contraintes ou réduire cet espace. Si en répétant les optimisations, aucune solution n'a pu être trouvée, le concepteur peut revenir en phase de modélisation pour modifier et réadapter son modèle ou éventuellement négocier les contraintes.

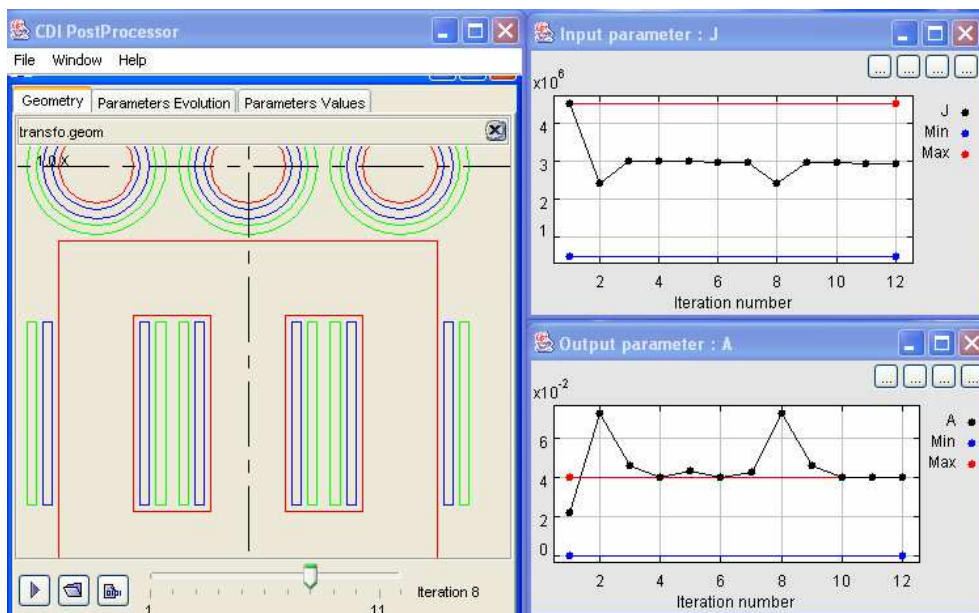


Figure 12 : Module d'analyse et de visualisation des résultats de l'optimisation

## V. Problématique et démarche

### V.1. Rappel du contexte : dimensionnement collaboratif à distance

Nous nous limitons dans la suite de ce travail à l'étude et à l'analyse de l'activité de dimensionnement collaboratif à distance via internet des produits techniques. Cette activité requiert la participation de plusieurs concepteurs de différents métiers [Amm05-a]. Ils travaillent sur des sites géographiques différents et via des outils de communication et de collaboration classiques tels que nous l'avons précisé dans la première partie de ce chapitre.

Nous avons retenu l'approche de dimensionnement préliminaire sous contraintes basée sur la modélisation analytique pour optimiser la structure. Nous nous appuyons pour cela sur les divers outils d'aide au dimensionnement :

- Mathcad pour l'analyse des modèles produits ;
- Pro@design pour générer le composant logiciel de calcul ;
- CdiOptimiser pour l'optimisation sous contraintes ;
- CdiPostProcesseur pour l'analyse des résultats de l'optimisation.

Dans ce contexte, deux types d'échanges sont à prendre en compte : les échanges entre outils logiciels pour le dimensionnement collaboratif du produit et les échanges entre concepteurs pour la construction collaborative de compromis acceptables par tous (voir figure 13).

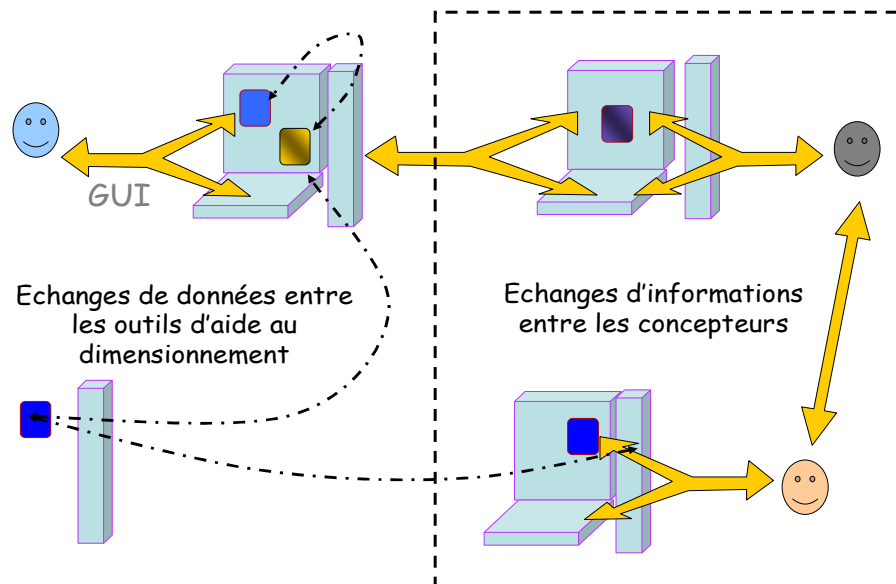


Figure 13 : Dimensionnement collaboratif à distance"via Internet"

### V.2. Objectif : un outil logiciel d'aide au co-dimensionnement

Nous avons vu que les différents outils d'aide au dimensionnement sur lesquels s'appuie la démarche d'optimisation étaient destinés à être utilisés par un seul concepteur qui connaît

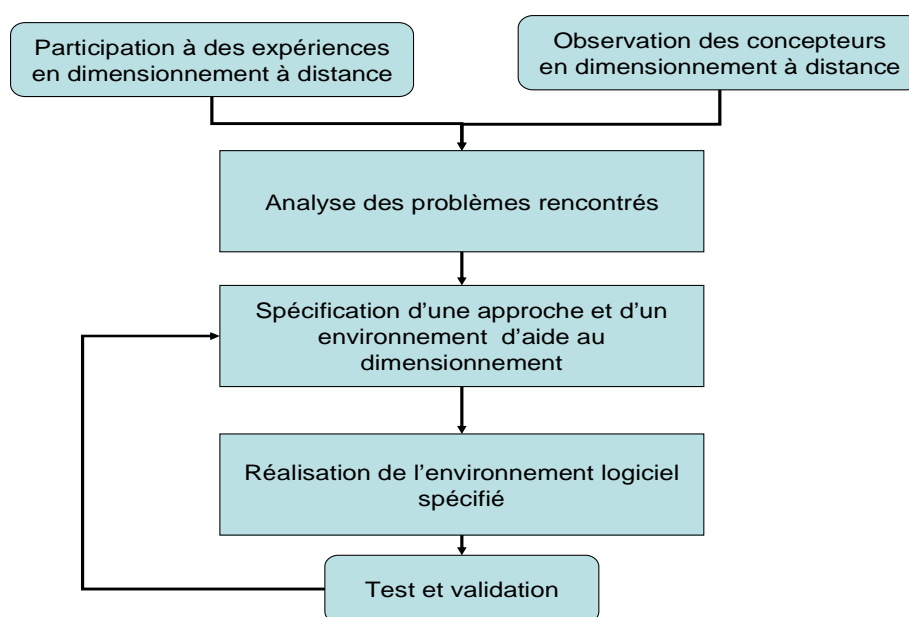
tous les modèles. Il se charge donc d'assembler les modèles et d'optimiser la structure à partir de ceux-ci pour satisfaire le cahier des charges.

Dans le cadre collaboratif, cette activité devient beaucoup plus problématique. D'un côté les modèles sont mis en oeuvre par des concepteurs de disciplines différentes et ayant des compétences différentes. La composition du modèle global devient plus complexe notamment du fait que les modèles sont généralement interdépendants. D'un autre côté, L'optimisation collaborative requièrent la définition d'un cahier des charges pour l'optimisation qui contient des contraintes cohérentes et qui satisfasse les exigences de tous les intervenants.

*Nous nous fixons donc comme objectif de spécifier et de réaliser un environnement d'aide permettant d'assister les concepteurs pour le dimensionnement collaboratif via Internet de produit technique pluridisciplinaire.*

### ***V.3. Démarche adoptée : de l'observation à la spécification***

Dans le but de bien spécifier cet environnement d'aide au dimensionnement collaboratif, une étape préliminaire d'analyse et de spécification des besoins des concepteurs est donc indispensable. Il existe différents types de démarche pour la spécification des besoins telles que les enquêtes, les études théoriques de l'activité, l'usage, l'observation... Dans le cadre de ce travail, nous avons retenu l'observation et l'usage comme moyens pour comprendre les besoins des différents concepteurs [Vis04]. Nous procédons par la suite à la spécification des fonctionnalités d'outils qui permettent d'accompagner les concepteurs durant cette phase (voir figure 14).



**Figure 14 : Démarche suivie pour assister le dimensionnement collaboratif**

## ***Conclusion***

L'activité de conception est une activité cognitive complexe qui fait intervenir plusieurs acteurs de différents domaines physiques. Ils peuvent être dans les mêmes locaux ou travailler à distance via des outils support pour le travail collaboratif via internet.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à une phase particulière de ce processus : la phase de dimensionnement durant laquelle les concepteurs sont chargés d'optimiser une structure prédéfinie par le client. Ils doivent donc travailler ensemble, via Internet, pour dimensionner la structure de base tout en respectant les différentes contraintes imposées par le donneur d'ordres.

Pour accomplir cette mission, les différents concepteurs se partagent le travail. Ils essayent chacun de leur côté, d'accomplir leur tâche en utilisant des outils métiers spécifiques. Ils manipulent durant cette phase divers types de données, d'informations et d'objets qui les aident à formaliser leurs connaissances. Ils essayent tout au long de ce processus, via des dynamiques d'explication, de formulation, de synchronisation cognitive de résoudre plusieurs problèmes et conflits d'intérêt.

Différents outils de travail collaboratif sont cités dans la littérature. Ils permettent d'organiser et de participer à des réunions virtuelles et d'échanger de manière synchrone ou asynchrone divers types de données. Cependant, les outils ne répondent pas aux besoins spécifiques à l'activité de dimensionnement collaboratif à distance, surtout en termes de détection et de résolution des conflits potentiels.

Dans la dernière partie de ce chapitre, nous avons présenté les différentes phases du processus de dimensionnement de structures développé au Laboratoire d'Electronique de Grenoble. Différents outils et composants logiciels ont été développés pour aider le concepteur dans cette démarche. Malheureusement, ils ne sont pas adaptés à un usage dans un contexte collaboratif, multimétiers et à distance. Pour remédier à cela, et en s'appuyant sur ces différents outils d'aide, nous proposons dans ce travail, de spécifier et de réaliser un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif via internet.

Dans cette perspective, une analyse approfondie de cette activité nous semble indispensable pour répondre aux différents besoins des concepteurs. Ainsi, une démarche d'analyse a été définie pour cela. Elle consiste à partir d'expériences réelles, à spécifier l'environnement d'aide adapté. L'étude des différentes phases de cette démarche feront l'objet du chapitre suivant.

## *CHAPITRE II*

---

### *SPECIFICATION D'UNE APPROCHE DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF*

---

## ***CHAPITRE II***

### ***SPECIFICATION D'UNE APPROCHE DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF***

#### ***Introduction***

Ce chapitre est dédié à l'analyse de la phase de dimensionnement collaboratif qui est une phase très importante du processus de conception. Pour ce faire, nous nous basons sur plusieurs expériences de dimensionnement collaboratif via internet pour analyser les besoins des concepteurs durant cette activité complexe. En plus de la spécification d'une approche de dimensionnement collaboratif, l'analyse de ces expériences nous conduira à la spécification des fonctionnalités d'un outil d'aide au dimensionnement collaboratif via internet que nous présenterons au chapitre suivant.

Nous commençons dans la première partie par présenter la démarche d'analyse innovante dans le domaine du génie électrique, que nous avons adoptée pour mieux comprendre les besoins spécifiques des concepteurs durant l'activité de dimensionnement collaboratif. Il s'agit ici d'une démarche d'observation et d'analyse dans l'usage. Nous nous appuyons pour cela sur des expériences réelles de conception que nous avons réalisées. Cela nous permettra de mieux cerner la complexité de cette activité et de mieux comprendre les problèmes à résoudre.

Nous exposons par la suite différents scénarios et expériences de dimensionnement collaboratif via internet d'un déclencheur électromécanique. Cette application, est selon notre point de vue, un exemple simple et complet qui nous permet d'illustrer les différents problèmes liés à cette activité.

Nous consacrons la quatrième partie de ce chapitre à une analyse macroscopique de différents problèmes observées en nous basant sur les différentes interactions entre les concepteurs durant cette activité. Cette analyse nous mènera en dernier lieu à la spécification d'une approche de dimensionnement intégré collaboratif via internet et de quelques fonctionnalités de l'outil d'aide qui sera proposé pour guider les concepteurs dans cette démarche.



## I. Choix de la méthodologie d'analyse des besoins

### I.1. L'observation du processus

Dans le but d'assister les concepteurs dans l'activité de dimensionnement collaboratif à distance et médiatisée via Internet, nous avons adopté une démarche innovante dans le domaine du génie électrique : de l'observation en usage à la spécification d'un outil d'accompagnement adapté. Cette démarche est adoptée depuis le début des années 90 dans d'autres domaines tels que le génie mécanique, le génie industriel et l'ergonomie cognitive. Cependant, elle reste très originale dans le domaine du génie électrique.

Différentes approches complémentaires ont été adoptées à cet effet (voir figure 15).

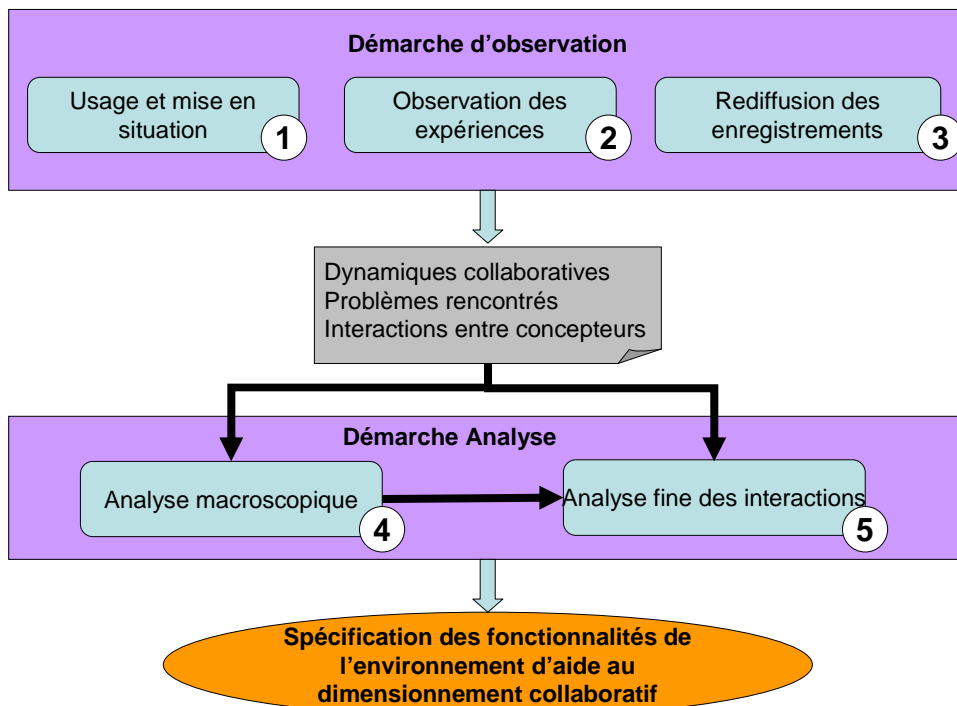


Figure 15: Démarche d'observation et d'analyse des besoins

#### I.1.1. L'usage

Le principe fondamental de cette approche est que vivre la situation réelle dans la peau du futur utilisateur des outils d'aide permet de mieux comprendre les besoins exprimés et de spécifier l'outil d'aide adéquat. Ainsi, nous avons participé à la résolution d'un problème de dimensionnement collaboratif via Internet d'un produit multi-physiques (étape 1 de la figure 15). Ces expériences nous ont permis de vivre une situation réelle durant laquelle nous étions confrontés à différents types de problèmes techniques, physiques, cognitif etc.

### *1.1.2. L'observation du processus*

Les différentes techniques utilisées pour l'observation du processus sont issues de la sociologie [Rui05]. Elle consiste à observer le comportement des concepteurs en situation réelle pour analyser l'activité et en déterminer les besoins. Nous avons donc participé à l'observation avec d'autres collaborateurs, à des expériences de dimensionnement collaboratif via internet (étape 2 de la figure 15). Nous reviendrons à ces expériences plus en détails dans la suite de ce chapitre.

Cela nous a permis de construire, selon les affinités et sensibilités des intervenants, un large spectre d'observations macroscopiques sur le déroulement global des expériences.

L'analyse des différentes notes d'observation et des points de vues de tous les participants, nous a permis de comprendre les problèmes rencontrés par les concepteurs et de spécifier ce dont ils auront besoin.

### *1.1.3. Analyse des enregistrements*

Durant les expériences auxquelles nous avons assistées, un projet de dimensionnement à distance a été filmé. Un corpus audiovisuel (communication vocale enregistrée) a été recueilli. En rediffusant l'ensemble des enregistrements (étape 3 de la figure 15), nous avons effectué une analyse a posteriori des différentes interactions entre les concepteurs. Cela nous a permis de prendre en charge les problèmes qui ont pu nous échapper durant l'observation macroscopique du processus.

## ***1.2. Notre démarche d'analyse***

Pour analyser les différentes facettes de cette activité, nous avons procédé en deux étapes. La première (étape 4 de la figure 15), est une étape d'analyse macroscopique du déroulement global des expériences. Elle nous renseigne sur l'approche de dimensionnement suivie par les concepteurs.

Dans une deuxième étape, à partir des notes d'observations, du visionnement des enregistrements, et de l'analyse macroscopique déjà faite, nous avons effectué une analyse plus fine des différentes interactions entre les concepteurs (étape 5 de la figure 15). Elle devra nous permettre de mettre en évidence sur divers problèmes rencontrés par les concepteurs durant leurs activités. Nous reprenons par la suite ces différents problèmes comme point de départ pour la spécification de l'environnement logiciel d'aide que nous voulons réaliser.

### *1.3. Les différentes dynamiques collaboratives à observer*

Dans le but de bien cadrer cette analyse, nous allons préalablement définir quelques dynamiques et interactions collaboratives à observer.

#### *1.3.1. Les stratégies et les démarches collaboratives déployées*

Il est important pour nous d'observer comment s'organise l'activité collective dans le cadre du dimensionnement collaboratif via internet. Nous souhaitons observer quel type de stratégie les concepteurs mettent en place pour atteindre l'objectif global de leur activité. Vont-ils essayer d'y arriver chacun de leur côté ou vont-ils plutôt adopter une démarche de coopération et d'intégration ? Ces stratégies vont être analysées dans le cadre de travail intra et inter-métiers.

Nous allons aussi nous intéresser à l'organisation globale de l'activité du groupe, en observant le facteur temporel (vont-ils respecter le planning fourni ?) et le facteur hiérarchique (comment vont-ils gérer le groupe ?).

#### *1.3.2. Les informations échangées intra et inter-groupes*

Afin d'analyser les différentes démarches cognitives au sein des groupes, nous allons observer les échanges informationnels entre les différents acteurs d'un même projet. Les concepteurs s'échangent au cours de cette activité différents types d'informations formelles et informelles (voir premier chapitre).

Ces deux types d'informations jouent un rôle très important dans la construction d'un espace de connaissance commun et pour l'obtention d'une solution satisfaisante. Nous allons donc essayer de voir quel type d'informations échangent les concepteurs et comment ?

#### *1.3.3. La synchronisation cognitive entre les concepteurs*

Dans le cadre du dimensionnement collaboratif, différents concepteurs issus de domaines physiques différents ont à collaborer ensemble pour co-dimensionner le produit. Durant cette activité, ils ont à échanger différents points de vues sur les produits en utilisant des vocabulaires et des syntaxes totalement différentes. Se synchroniser cognitivement consiste donc à réussir à se comprendre les uns et les autres et à construire ensemble un espace de connaissance compris et partagé par tous, par exemple un cahier des charges cohérent et construit d'une manière collaborative. Cela est d'autant plus important que les concepteurs ont souvent des logiques différentes (même au sein d'un même métier) et des expériences personnelles différentes qui les guident dans leurs démarches de

dimensionnement. Nous allons donc essayer de voir comment les différents concepteurs exposent leurs différents points de vue et arrivent à se comprendre ?

#### *1.3.4. La gestion des situations conflictuelles*

Pour pouvoir obtenir une solution satisfaisante, les concepteurs ont à gérer différents conflits d'intérêts et des divergences de points de vue. Dans le but de trouver un compromis acceptable par tous, les concepteurs doivent confronter leurs points de vues et argumenter leurs choix et décisions. Cette activité est très importante à observer puisqu'elle nous permet de comprendre de près les processus d'argumentation et de négociation déployés durant le dimensionnement collaboratif entre acteurs de différentes cultures et en plus travaillant à distance via internet.

#### *1.3.5. Influence de la distribution spatiale sur les dynamiques collaboratives*

Vu les obligations économiques et industrielles actuelles, les organisations reparties collaborant à distance via Internet prennent de l'ampleur. Cette nouvelle organisation modifie les caractéristiques de l'activité de dimensionnement puisqu'elle biaise toutes les interactions entre les collaborateurs multimétiers. Il est donc très important d'observer comment influe cette organisation sur la procédure de dimensionnement collaborative suivie par les concepteurs de manière générale et plus particulièrement en observant comment elle influe sur les échanges d'information, sur la synchronisation cognitive et la résolution des conflits et des problèmes.

## **II. Les expériences de conception collaborative**

Actuellement, la conception collaborative dans le milieu industriel relève plus de la revue de projet pour la validation collaborative des choix des différents concepteurs que de la co-construction synchrone de solution. Afin de se rapprocher au mieux du contexte d'une activité de dimensionnement à distance via Internet et entre acteurs de différents métiers, nous avons adopté la démarche de partir de différentes expériences de dimensionnement d'un déclencheur électromécanique définies dans différents contextes.

### ***II.1. L'application support aux expériences : un déclencheur électromécanique***

#### *II.1.1. Le déclencheur à concevoir*

Un seul produit multi-physiques a été choisi comme application pour les différentes expériences réalisées. Il s'agit d'un déclencheur électromécanique dont le principe de

fonctionnement est relativement simple mais qui possède aussi des caractéristiques multidisciplinaires suffisamment complexes (voir figure 16).

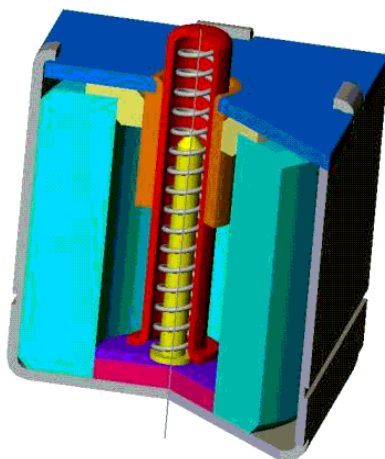


Figure 16: Déclencheur électromécanique à concevoir

### II.1.2. Le principe de fonctionnement

Le déclencheur électromécanique étudié est un dispositif électrique qui doit, à la présence d'un signal d'arrêt d'urgence, passer de la position basse de repos à la position haute pour appuyer sur un actionneur provoquant la coupure d'un courant (voir figure 17).

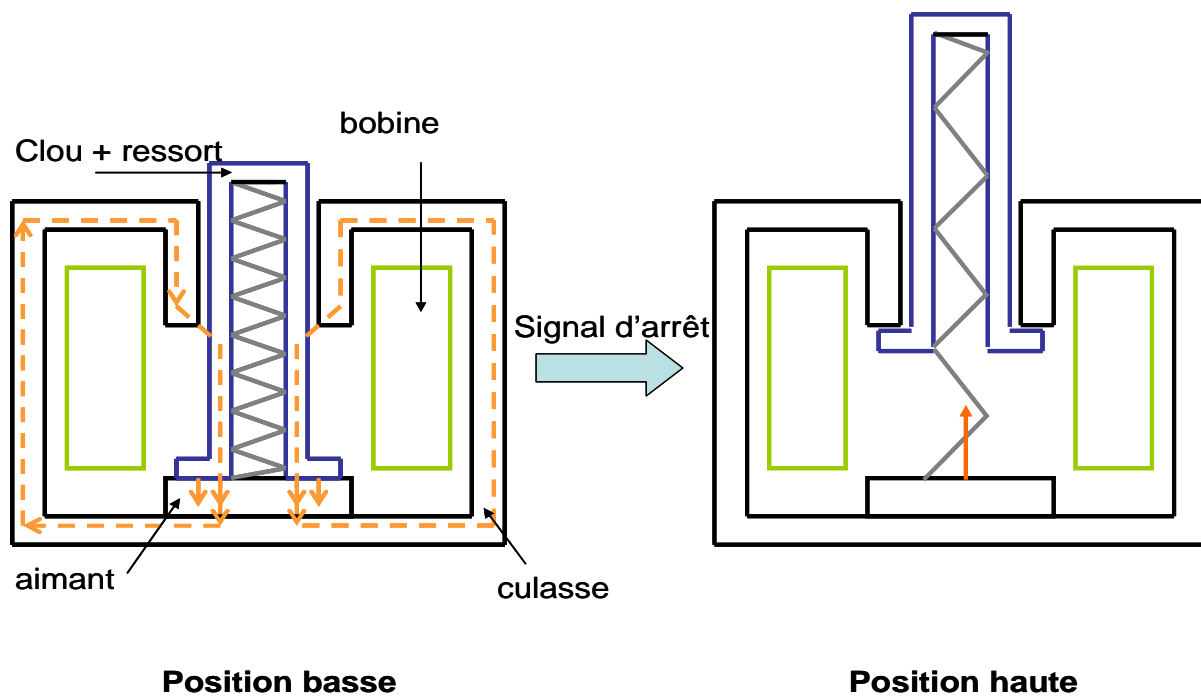


Figure 17: Principe de fonctionnement du déclencheur

La partie mobile composée du clou est retenue en position basse grâce à la force exercée par l'aimant permanent. A la présence d'un signal d'arrêt d'urgence, un courant est injecté dans la bobine. Le flux magnétique résultant, annule le flux initial et libère la partie mobile qui passe en position haute et va appuyer sur l'actionneur de coupure de courant, grâce à un ressort initialement comprimé (voir figure 17).

La conception et le dimensionnement de ce dispositif électromécanique relativement simple, nécessite des compétences en:

- magnétisme pour la conception et la modélisation de la partie électromagnétique ;
- calcul mécanique pour le calcul de la force et des dimensions du ressort à utiliser ;
- fabrication et matériaux pour choisir les bons matériaux et les procédés de fabrication ;
- thermique.

### *II.1.3. Les aspects multidisciplinaires à gérer de manière collaborative*

Le cahier des charges fourni aux concepteurs contient les caractéristiques techniques souhaitées pour le produit final (voir annexe I). Les concepteurs doivent donc à partir de ces contraintes dimensionner le produit en minimisant le coût. Différentes propriétés de ce produit doivent être optimisées de manière collaborative entre les différents concepteurs physiques participant aux expériences.

Pour dimensionner la partie mobile formée par le clou et le ressort (voir figure 17), les concepteurs doivent intégrer plusieurs caractéristiques du produit telles que la force mécanique du ressort et les forces magnétiques produites par l'aimant et la bobine.

Les dimensions et le choix des matériaux de la culasse sont un deuxième exemple de paramètres multidisciplinaires. En effet, la culasse véhicule les lignes du champ magnétique produit, elle doit être fabriquée dans une matière "conductrice" magnétiquement et suffisamment épaisse pour laisser passer le flux magnétique.

Durant le dimensionnement collaboratif de ces parties, les concepteurs doivent gérer différents conflits d'intérêts et trouver des compromis acceptables par tous. Un premier exemple de conflit à gérer est le jeu  $J$  séparant le clou de la culasse (voir figure 18). En effet, cette distance représente d'un point de vue mécanique un jeu fonctionnel indispensable pour assurer le déplacement vertical de la partie mobile. Il doit être donc supérieur à une valeur minimale à définir selon les contraintes mécaniques. D'un autre côté, et selon un point de vue magnétique, ce paramètre représente un entrefer magnétique qui s'oppose au passage du flux magnétique, il est donc à minimiser.

Un deuxième exemple de conflit à gérer est l'épaisseur de la tôle utilisée pour la culasse. Elle doit être suffisamment épaisse pour conduire le maximum de flux magnétique pour un concepteur magnétique. Cependant, un concepteur responsable de la fabrication doit veiller à ce que cette épaisseur ne soit pas trop importante pour pouvoir plier la tôle.

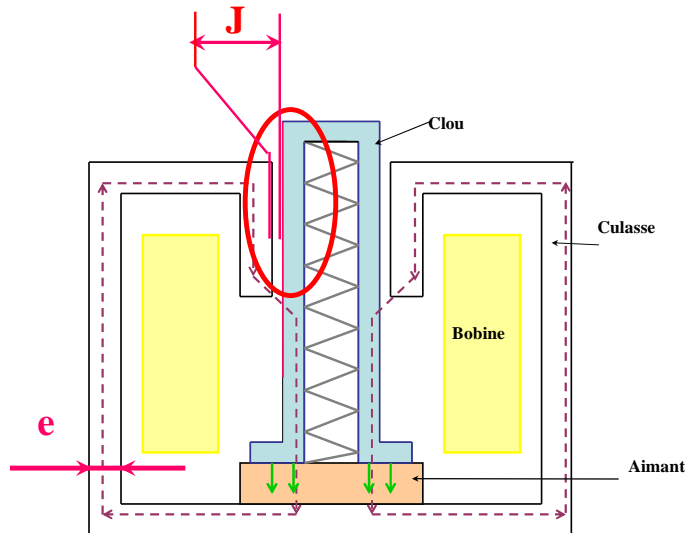


Figure 18 : Exemple de paramètres antagonistes à optimiser

## *II.2. Les différentes expériences étudiées*

Divers expériences ont été retenues pour nous permettre d'étudier et analyser les besoins spécifiques des concepteurs durant l'activité de dimensionnement collaboratif via internet.

### *II.2.1. Les expériences de dimensionnement dans un contexte de recherche*

Des expériences entre chercheurs du laboratoire d'électrotechnique et du laboratoire sols solides structures de Grenoble ont été réalisées pour dimensionner de manière collaborative via Internet le contacteur électromécanique étudié. Ces expériences ont été réalisées dans le cadre d'un projet préalablement à nos travaux de thèse [Del02], [Rib02]. Deux groupes de concepteurs chargés du dimensionnement de la partie mécanique et de la partie électrique ont mis en œuvre différentes stratégies pour l'optimisation du produit final selon les contraintes globales exigées par le cahier des charges [Rib04], [Gow03].

### *II.2.2. Les expériences de prise en main du dimensionnement*

Ces expériences ont été réalisées dans le contexte d'un stage de Master en génie industriel [Bel05]. Nous avons réalisé ces expériences dans le but de vivre par nous même une situation réelle de dimensionnement à distance médiatisée via internet. Travaillant dans des locaux différents, nous avons été confrontés à divers problèmes techniques de communications liées aux outils utilisés (par exemple : les pare-feux (firewall)). En plus de la difficulté de la gestion des différents outils de CAO spécifiques à chaque concepteur, nous étions confrontés à des problèmes de communication et de gestion de l'activité collaborative

dont la difficulté a été accentuée par nos cultures métiers et par nos expériences personnelles très différentes.

Ces expériences ont pour principal objectif de nous aider à nous approprier le *problème* et de sentir par nous-même les besoins qui peuvent être exprimés durant cette activité.

### II.2.3. Les expériences de dimensionnement dans un contexte pédagogique

Ces expériences s'intègrent dans le cadre d'un projet financé par la région Rhône-Alpes "Cosmoce" [Cos]. Il regroupe plusieurs laboratoires de recherche de domaines différents :

- le génie électrique (LEG)
- le génie mécanique (3S)
- le génie industriel (GILCO)
- l'informatique (LIRIS, RIM)
- l'ergonomie cognitive (ICAR).

Durant deux années consécutives, des expériences de conception collaborative médiatisée à *distance*, via internet, ont été réalisées (voir figure 19) dans le cadre d'un module d'ingénierie collaborative à distance réalisée dans le cadre d'un enseignement commun entre l'école Nationale Supérieure des Ingénieurs Electriciens de Grenoble « ENSIEG » et l'école Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique et Grenoble « ENSHMG ». Ce sont ces expériences qui ont été analysées dans le cadre du projet Cosmoce par des chercheurs issus des différents laboratoires partenaires au projet

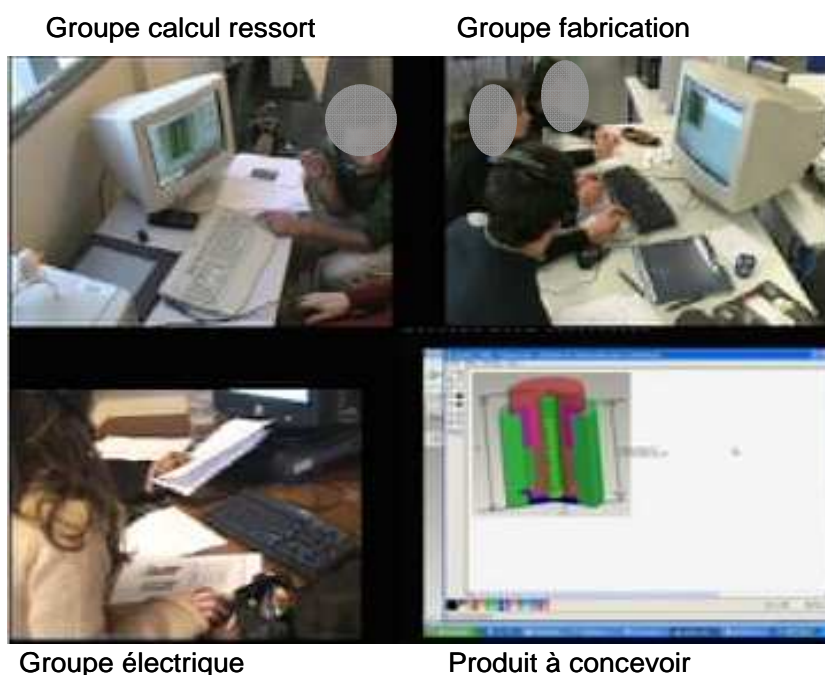


Figure 19 : Expériences de dimensionnement collaboratif à distance



Dans la suite de ce travail, nous allons nous appuyons sur l'analyse de ces dernières expériences pour spécifier les fonctionnalités de notre outil d'aide. Nous consacrons donc le paragraphe suivant à la description détaillée de celles-ci.

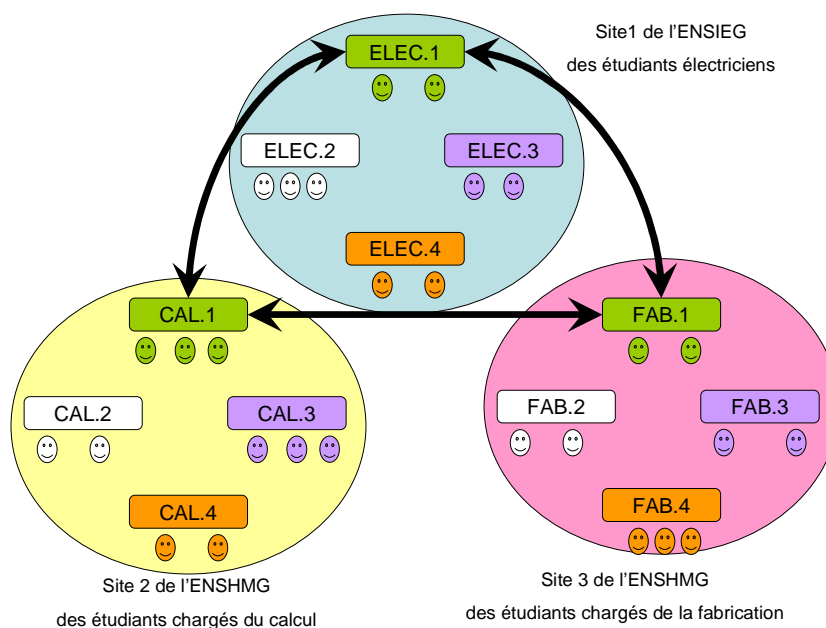
### *II.3. Description détaillée des expériences de dimensionnement collaboratif via Internet*

#### *II.3.1. L'organisation*

Durant le module d'ingénierie collaborative, trois groupes-métiers d'élèves ingénieurs de troisième année ont été amenés à travailler sur trois sites différents et via Internet pour la conception et le dimensionnement d'un produit hétérogène et multi-physiques (voir figure 20). En effet, sur chaque site, travaillait:

- un groupe-métier de concepteurs "électriciens" chargés de la partie électrique travaillant sur le site 1 de l'ENSIEG,
- un groupe-métier de concepteurs "calcul mécanique" chargés du dimensionnement de la partie mobile (ressort et clou) travaillant sur le site 2 de l'ENSHMG,
- un dernier groupe-métier de concepteurs "fabrication mécanique" chargés de concevoir la culasse et travaillant sur le site 3 de l'ENSHMG.

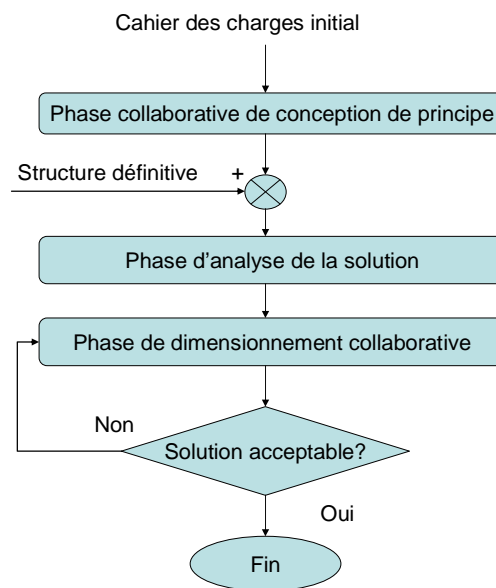
Sur chacun de ces sites, les étudiants ont été repartis par groupes de deux ou trois élèves représentant le métier auquel ils appartenaient. Des projets de conception se sont ensuite formés. Chaque projet était donc constitué de trois groupes métiers différents travaillant sur chaque site (voir figure 20). Nous avons compté quatre projets durant la première année et cinq durant la deuxième.



**Figure 20: Organisation des groupes – projets**

### II.3.2. Le scénario

Durant ces différentes expériences, un scénario a été défini en fonction des phases de dimensionnement que nous souhaitons observer. La première phase est une phase de brainstorming durant laquelle les différents concepteurs ont à discuter et à échanger leurs points de vues sur la structure à concevoir. Ils doivent à la fin de cette phase fournir une structure acceptable par tous. Ensuite, une structure commune basique est fournie à tous les projets participant aux expériences par les encadrants. Ils doivent dimensionner cette structure de manière collaborative et veiller au respect des contraintes du cahier des charges initial (voir figure 21).



**Figure 21: Scénario des expériences de dimensionnement collaboratifs**

Ces expériences nous permettent d’observer et d’analyser des situations réelles de dimensionnement collaboratif via internet. Cependant la validité des résultats obtenus peut être discutée vu que différentes contraintes liées au contexte industriel ne peuvent pas être prises en compte dans le cadre d’une situation pédagogique d’enseignement. Nous considérons que malgré les différences qu’il peut y avoir entre les deux contextes, les dynamiques déployées et les problèmes rencontrés par les concepteurs resteront valables après adaptation adéquate dans un milieu industriel.

De plus, cela permet (dans la limite des objectifs pédagogiques), de cadrer les expériences en vue de leur observation et de cibler ce qu’ont veut observer.

### II.3.3. Le planning

#### II.3.3.1. Expériences de la première année

Durant la première année, le planning (voir tableau 2) a été défini par les enseignants en s'appuyant sur l'historique et le déroulement des expériences réalisés dans le contexte de recherche définie entre le LEG et 3S, tout en veillant au respect des objectifs pédagogiques qui s'imposent.

Les expériences se composent de trois séances. La première séance est dédiée à l'analyse des contraintes et à la recherche d'un principe de solution adaptée. Au début de la deuxième séance, une structure commune est proposée par les enseignants. Désormais, les étudiants ont pour mission de dimensionner la structure en reconsidérant l'ensemble des contraintes du cahier des charges. La troisième séance est ensuite consacrée dans sa première partie à la finalisation du processus d'optimisation. Les expériences s'achèvent par une phase de revue collaborative durant laquelle les étudiants rédigent ensemble un rapport d'activité dans lequel ils présentent la solution obtenue et justifient des choix effectués.

**Tableau 2: Planning des expériences de la première année**

Séance	Mode de travail	Temps imparti	Activités	Résultats attendus
1	Synchrone	4h	Découverte du cahier des charges Choix de principe et de structure	Proposition d'une structure adaptée aux besoins
2	Synchrone	4h	Dimensionnement collaboratif de la structure proposé par l'enseignant	Adaptation de la structure Gestion des paramètres conflictuels Dimensionnement de la structure
3	Synchrone	2h	Finalisation du Dimensionnement.	Présentation de la solution et justification des choix
		2h	Revue collaborative	

#### II.3.3.2. Expériences de la deuxième année

A l'issu des observations et des analyses effectuées, différentes difficultés ont été mises en évidence notamment en terme de lourdeurs des phases de travail synchrones, un nouveau planning a été effectué pour les expériences de la deuxième année. Diverses activités collaboratives y ont été prévues.

Le nouveau planning comporte une phase de travail en présentiel qui permet d'un côté d'augmenter la cohérence des groupes par une meilleure connaissance des individus et des métiers. D'un autre côté, elle nous permet de sentir la différence entre une situation collaborative à distance via internet et une situation collaborative en présentiel.

Il contient aussi plusieurs phases de travail synchrones inter-métiers durant lesquelles les concepteurs travaillent ensemble pour le dimensionnement de la structure. Par contre,

leurs durées ont été revues à la baisse. Cela permet de remédier à la lourdeur de la sollicitation continue durant les phases de travail synchrone.

Des phases de travail asynchrone sont aussi prévues pour que les concepteurs puissent approfondir leur travail dans leurs métiers respectifs. L'alternance dans ce planning, entre les deux modes de travail synchrone est selon nous indispensable pour l'obtention d'une solution satisfaisante.

Nous avons aussi fait travailler les étudiants de chaque projet avant dans un autre enseignement, dans les mêmes groupes, pour établir une meilleure connaissance mutuelle entre les uns et les autres.

**Tableau 3: Planning des expériences de dimensionnement collaboratif année 2**

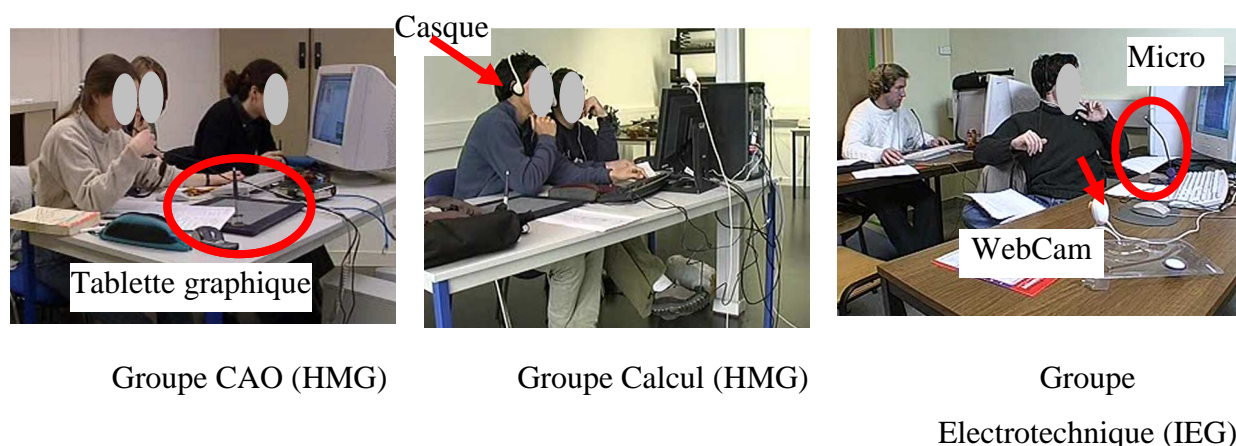
Séance	Mode de travail	Temps imparti	Activités	Résultats attendus
1	A distance	2h30	-Découverte du cahier des charges	Besoins explicités Structures proposée et argumentée
	Présentiel	1h30	-Choix de principe et de structure	
2	Par métier Asynchrone	2h	Par métier, l'enseignant présente une structure choisie Partant de celle-ci, analyse des contraintes (pas d'échange inter-métiers). Il s'agit de repérer les paramètres à définir et d'analyser les méthodes à disposition dans le métier pour les définir.	Appropriation du problème, des outils, des modèles de base dans chaque métier.
3	Synchrone	2h	Dimensionnement en commun	Identification et travail sur les paramètres à négocier entre mécaniciens et électriciens.
4	Synchrone	2:30h	Représentation du produit	Représentations du produit (formes et dimensions) argumentées et prenant en compte les intégrations croisées nécessaires.
		1:30h	Revue collaborative	Justification commune des choix effectués sur le produit Analyse réflexive de la pratique de conception collaborative.

### II.3.4. Les ressources mises à disposition pour les expériences

Différents outils informatiques ont été mis à la disposition des concepteurs pour leur permettre de travailler à distance. Trois groupes d'outils matériels ont été recensés.

#### II.3.4.1. Les périphériques de travail collaboratif

Outre les postes informatiques standards, il était nécessaire, de mettre en place pour ces différentes expériences d'ingénierie collaborative distante des périphériques de communications audio (micro-casques) et vidéo (webcams), ainsi que de numérisation de documents (scanner) et des facilités de dessin ou croquis (tablettes graphiques) (voir figure22)



**Figure 22 : Périphériques de communication à distance**

#### II.3.4.2. Les logiciels de communication et de travail collaboratif

Des outils généraux de communication via internet étaient mis à disposition de l'ensemble des participants du projet (voir tableau 4).

**Tableau 4: Logiciels de communication et de travail collaboratif**

Outil logiciel	Fonctionnalité
NetMeeting	Chat, transfert et partage de fichiers
SameTime	Tableau blanc, partage d'application
Arel	Vidéo, audio
TeamSpeak	Chat et audio multipoint
Claroline	Serveur de stockage et partage de données
MindManager	Rédaction collaborative de document
Outils bureautique: word, excel, PowerPoint	Rédaction de rapports, tableur, exposé...

#### *II.3.4.3. Les logiciels CAO de travail dans les métiers :*

Les électriciens disposaient de modèles mathématiques de comportement de systèmes électromagnétiques (basés sur MathCad), ainsi que l'environnement d'optimisation Pro@Design développé initialement au sein du Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble et commercialisé par la start-up Design Processing Technology [*Pro*].

Les mécaniciens ayant un rôle de concepteur mécanique disposaient de l'outil de modélisation CAO Pro/Engineer, avec entre autres des modules de tôlerie et de simulation d'usinage.ss

Les mécaniciens ayant un rôle de calcul disposaient d'outils de simulation de comportement de structures mécaniques (DesignSpace) pour effectuer des études de pré-dimensionnement. Ils avaient aussi diverses ressources telles que des formulaires de calcul de ressorts, des bibliothèques d'éléments standards, etc...

#### *II.3.5. Les dispositifs de capture et de traçage*

Différents outils pour la capture et le traçage ont été mis à notre disposition. Ils devaient permettre l'observation microscopique et la formation d'un corpus sur les expériences afin de permettre leur analyse fine (voir Annexe IV). Cette démarche a été réalisée par des experts en ergonomie cognitive et en sciences humaines et sociales partenaires du projet Cosmoce [*Cos*]. Dans cette perspective, nous avons mis en place un dispositif de capture audio-visuel. En effet, pour un même projet, chaque groupe métier a été filmé durant les expériences de dimensionnement collaboratif réalisées.

Toutes les communications transmises via le logiciel de tchat audio "TeamSpeak" ont été enregistrées sur un serveur disponible à cet effet.

Pour garder une trace des différentes pratiques déployées durant cette activité, une sortie numérique connectée à un PC nous a permis de garder une trace informatique par capture d'écran.

Nous avons veillé à garder une copie des différents fichiers créés ou échangés entre les concepteurs tels que les pages du tableau blanc, les documents collaboratifs rédigés en utilisant MindManager, les rapport collaboratifs de synthèse, etc. Tous ces documents ont été déposés sur le serveur de stockage collaboratif Claroline mis à la disposition des étudiants.

### **III. Observations et analyses macroscopiques des expériences**

L'analyse macroscopique effectuée en se basant sur le déroulement global des expériences et les dynamiques collaboratives déployées durant l'activité de dimensionnement collaboratif du déclencheur électromécanique nous a permis de mettre en évidence deux

stratégies de dimensionnement différentes: la stratégie d'optimisation par métier et la stratégie d'optimisation globale ou "intégrée" [Ger04], [Amm05-b].

### ***III.1. La stratégie de dimensionnement séparée***

Selon cette stratégie, pour un même projet, chaque groupe - métier essaye de dimensionner de son côté la partie du déclencheur qui le concerne (étape 1 de la figure 23). Chaque concepteur définit ses propres objectifs et contraintes et essaye de dimensionner la sous – structure qu'il étudie selon sa propre démarche et en utilisant ses outils métiers. Dès que toutes les solutions respectives sont obtenues, les concepteurs se réunissent dans une phase de travail synchrone pour la composition de la solution globale (étape 2 de la figure 23). Ils vérifient la cohérence de la solution obtenue vis-à-vis des contraintes définies dans le cahier des charges global. Les concepteurs sont généralement amenés à renégocier leurs contraintes et à modifier à plusieurs reprises leurs solutions avant d'aboutir à une structure optimale acceptable par tous.

Cette stratégie a été naturellement adoptée par les étudiants concepteurs durant les expériences de dimensionnement effectuées dans le cadre des modules d'ingénierie collaborative ENSIEG/ENSHMG. Durant les deux premières années, sept parmi les neuf projets que nous avons observés ont utilisé cette stratégie pour dimensionner le déclencheur étudié. En effet, cette démarche était plus intuitive et a priori plus rapide. Elle semblait donc plus naturelle pour les concepteurs.

Chaque groupe-métier du projet dimensionnait selon sa propre expérience et en s'appuyant sur les différents outils métiers dont il disposait. Malheureusement, l'obtention d'une solution globale n'était pas garantie selon cette stratégie. Dans les délais fournis, la solution ainsi obtenue n'était pas cohérente et ne respectait pas les contraintes globales définies par le cahier des charges. Pour les quelques projets qui sont allés jusqu'au bout, il a fallu que les concepteurs réitérent leur dimensionnement à plusieurs reprises et malgré cela, l'obtention d'une solution satisfaisante n'était pas garantie.

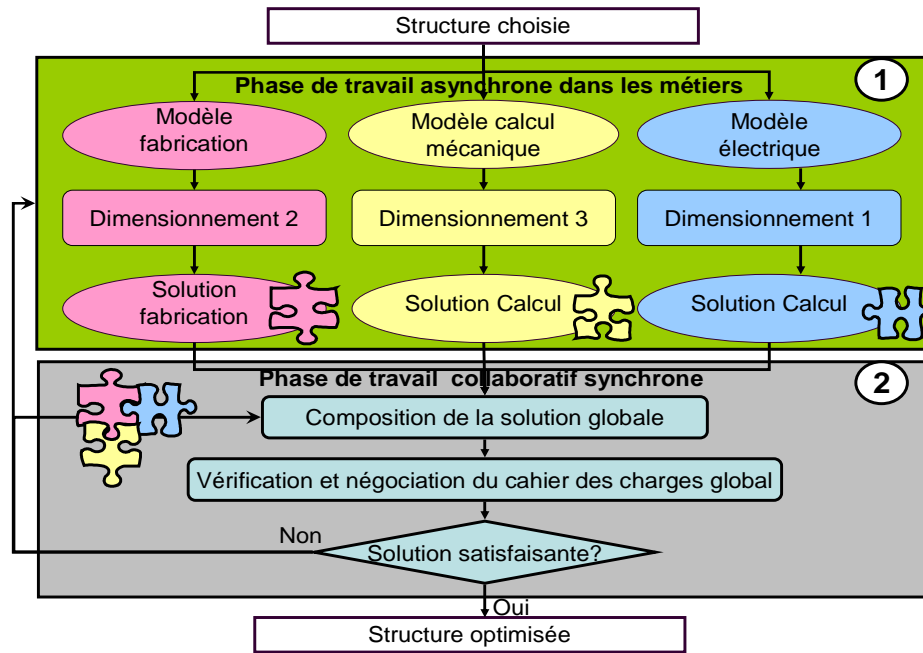
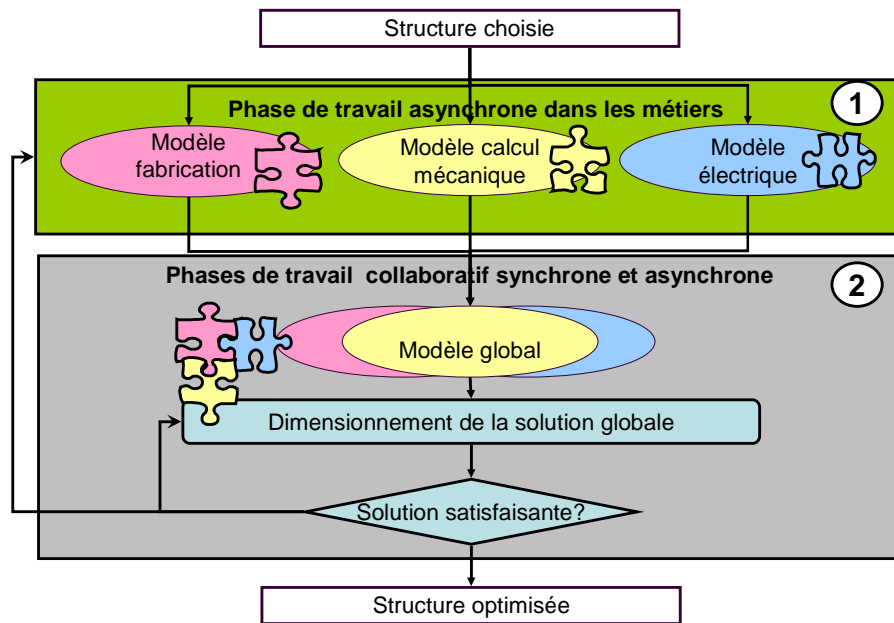


Figure 23: Stratégie d'optimisation séparée

### III.2. La stratégie de dimensionnement intégrée

Cette démarche (adoptée par deux projets) consiste à adopter une démarche d'optimisation et de dimensionnement global de la structure étudiée. Le principe de cette démarche est d'intégrer les différentes contraintes issues des différents métiers dans une démarche d'optimisation globale. La solution ainsi obtenue assure un maximum de cohérence et minimise considérablement le nombre des itérations nécessaires pour l'obtention d'une solution acceptable par tous (voir figure 24). Sachant que la somme des optima locaux ne correspond pas forcément à l'optimum global du système, cette stratégie est d'un point de vue théorique plus efficace et permet aux concepteurs de s'assurer de la cohérence globale de la solution.





**Figure 24 : Stratégie intégrée**

Préalablement, cette stratégie avait été utilisée dans le cadre des expériences de recherche où les concepteurs avaient ainsi réussi à obtenir une structure satisfaisante qui respectait toutes les contraintes du cahier des charges et qui convenait aux différents partenaires du projet. En effet, le modèle mécanique et le modèle électrique du déclencheur ont été assemblés pour composer un seul modèle global qui représente toute la structure à optimiser (étape 1 de la figure 24). Ensuite une optimisation collaborative et globale a été mise en place pour satisfaire toutes les contraintes du cahier des charges global.

Malgré sa pertinence théorique cette stratégie n'a été utilisée pleinement que par deux projets parmi neuf durant les deux expériences pédagogiques réalisées avec les étudiants. Certains autres projets ont commencé à l'appréhender, mais ne sont pas allés assez loin dans la modélisation collaborative, du coup, ils sont restés dans la stratégie séparée. Cela peut être la résultante de plusieurs facteurs, parmi lesquels nous citons :

- Les différences culturelles entre les concepteurs ;
- Les différences entre les démarches d'optimisation ;
- La démarche cognitive opportuniste des concepteurs...

Dans le but de comprendre pourquoi la démarche intégrée était difficile à mettre en oeuvre bien qu'elle soit plus efficace, nous allons dans la suite de cette étude affiner notre analyse. Dans cette perspective, nous nous appuyons sur les diverses observations effectuées ainsi que les interactions entre les concepteurs participants aux expériences d'ENSHMG et de ENSIEG.

## **IV. Constats et analyse des expériences**

En plus des problèmes détectés au cours de notre observation de ces expériences, nous avons utilisé la trace audio-visuelle recueillie durant les deux années consécutives pour effectuer une analyse macroscopique des différentes interactions entre les concepteurs pour dimensionner le déclencheur de manière collaborative et via internet.

### ***IV.1. Importance de la construction d'une confiance mutuelle***

Les expériences réalisées la première année ont permis de mettre en évidence la difficulté de la construction d'un sentiment de confiance mutuelle entre les concepteurs. Ce problème a été accentué par le fait que les concepteurs ne se connaissaient pas préalablement aux expériences. Travailler avec un inconnu, n'a pas facilité l'échange et le partage entre les groupes. Les concepteurs ont souvent mis en doute l'implication surtout au fur et à mesure que les concepteurs avançaient dans le projet. La connaissance préalable entre les intervenants d'un même projet semble indispensable pour encourager les concepteurs à établir une relation de confiance mutuelle en travaillant à distance.

### ***IV.2. Difficulté de la gestion de l'activité globale***

Au cours de ces expériences, la gestion de l'organisation globale de l'activité par les concepteurs était très difficile. Il y a eu donc, des problèmes de coordination entre les concepteurs et une mauvaise gestion de l'activité globale du projet et locale spécifique à chaque métier. La fatigue s'est aussi vite installée suite à l'utilisation des casques et à la sollicitation continue des autres intervenants. La compréhension et la confiance mutuelle entre les concepteurs étaient difficiles à construire.

Au cours de la séance de débriefing et de retour d'expérience réalisée avec les étudiants, un des acteurs est intervenu avec ceci: *"Il y a eu une mauvaise gestion du temps dans le processus de développement du produit. Nous avons un but commun mais la coopération a été difficile car tout le monde voulait absolument avancer de son côté. [...] Il n'y pas un groupe qui s'est mis en relief pour prendre le rôle de chef, tout le monde a voulu rester au même niveau"* [Mar05]. Cela met en évidence la difficulté ressentie par les concepteurs durant la gestion de leur activité collaborative que ce soit en terme de respect du planning, ou du temps, ou par rapport à la coordination de l'activités des différents groupes métiers d'un même projet.

### ***IV.3. Besoin des phases de travail synchrone et asynchrone***

Le premier planning des expériences réalisées la première année nous permis de mettre en évidence que pour avancer dans leur travail, les concepteurs ont besoins de phases de travail asynchrone. En effet, face à la sollicitation permanente des autres, quelques concepteurs se sont isolés en enlevant leurs casques et en se rendant momentanément indisponibles et injoignables. Cette démarche d'isolation volontaire s'est rependue au fur et à mesure que les expériences avançaient. Elle ne témoigne pas d'une mauvaise volonté de coopération et d'implication dans le projet. Elle met plutôt en évidence, l'importance de structurer l'activité collective dans un cadre organisationnel qui préserve à la fois les intérêts personnels des concepteurs en leur permettant d'approfondir tranquillement leur travail dans leurs métiers. Elle veille aussi aux intérêts du projet collectif en instaurant des phases de travail collaboratif synchrone.

Cependant, les phases de travail synchrones se sont révélées très problématiques. La sollicitation permanente durant ces phases et l'énergie indispensable pour l'avancement du projet rend ces phases très fatigantes et lourdes cognitivement, l'organisation et la structuration de ces phases sont donc indispensables pour pouvoir les rendre productives, notamment au niveau de leur planification.

### ***IV.4. Des méthodologies et des outils de dimensionnement différents***

En plus de leur logique cognitive et de leurs expériences personnelles différentes, les concepteurs ont été amenés à gérer des contraintes supplémentaires dues à leur appartenance à des domaines physiques et des cultures métiers différents.

Les méthodologies de dimensionnement entre les concepteurs électriciens et les concepteurs mécaniciens sont aussi différentes. En effet, les électriciens utilisent pour le dimensionnement du déclencheur des outils basés sur l'optimisation analytique des structures. Les mécaniciens se basent eux sur une modélisation 3D, du calcul et de l'exploitation des bases des données de fabricants.

Les concepteurs ont été amenés à utiliser divers outils métiers. Il était difficile pour les concepteurs de s'approprier et de partager ces différentes représentations.

### ***IV.5. Mauvaise gestion des interdépendances***

Bien que les concepteurs aient été informés que leurs tâches respectives étaient intimement liées, ils n'ont pas pu mettre en commun leurs efforts pour détecter, gérer et approfondir les différentes interdépendances entre les modèles mécaniques et le modèle électrique. La plupart d'entre eux ont essayé de réfléchir à une démarche de dimensionnement

collaborative intégrant les contraintes de tous les groupes métiers. Les interdépendances entre leurs tâches respectives n'étaient pas pour eux assez explicites, ils ont vite abandonné cette démarche pour essayer chacun de leur côté de prendre les choses en main. Plusieurs phases de calcul et de travail dans les métiers ont été nécessaires, pour les plus chanceux d'entre eux, pour aboutir à des dimensions acceptables par tous.

La signification de certaines variables utilisés au cours du dimensionnement varie d'un métier à un autre. Nous pouvons rappeler ici l'exemple du paramètre J de la figure 18 appelé "jeu" par les mécaniciens, et "entrefer" par les électriciens. Un des premiers problèmes que les concepteurs doivent résoudre dans cette activité est de réussir donc à déterminer l'ensemble des paramètres communs entre leurs modèles respectifs.

En plus de les détecter, les étudiants doivent par la suite optimiser ces paramètres de manière collaborative. En effet, les contraintes définies par les concepteurs peuvent être antagonistes. Ils doivent dans ce cas négocier ensemble un compromis acceptable par tous.

#### ***IV.6. Difficulté de gestion des échanges informationnelles***

Le travail à distance a eu beaucoup d'effet sur les échanges d'informations entre les concepteurs. Nous nous sommes rendus compte de la difficulté de la communication à travers les outils logiciels disponibles. Il faut être suffisamment clair et précis. Les informations échangées entre les concepteurs sont donc fortement biaisées par l'outil de communication utilisé. Les discussions, moteur principal de transfert des données informelles, deviennent moins spontanées et plus difficiles.

D'un autre côté, divers types de données s'accumulaient au fur et à mesure que les étudiants avançaient dans leur projet. Il était donc difficile de retrouver le bon fichier recherché sans perte de temps.

Les concepteurs ont aussi manifesté le besoin de manipuler des documents interactifs qui sont construits à partir des différentes contributions des acteurs participants au projet. Ils ont utilisé par exemple le tableau blanc pour exprimer leurs points de vues et leurs contraintes à travers des croquis, des figures et même des photos d'une webcam [Mar05] ... Ces diverses données ont joué un rôle important dans la synchronisation cognitive entre les concepteurs (voir Annexe V).

#### ***IV.7. La difficulté de la synchronisation cognitive***

La pluridisciplinarité des concepteurs a augmenté la difficulté de la construction d'un espace de connaissance partagé dans le cadre de cette activité collaborative. Il était difficile pour les concepteurs de partager les points de vue des autres groupes-métiers et de

comprendre leurs contraintes. Ces problèmes ont été mis en évidence par la difficulté qu'ont eu les groupes à formuler des compromis inter-métiers. Les étudiants étaient obligés, tout au long de leurs activités de se rappeler la signification des différentes variables manipulées et d'expliquer aux autres l'importance de leurs contraintes. Nous avons senti le réel besoin de support à ces discussions, d'un document partagé et évolutif dans lequel les concepteurs définissent une fois pour toutes leurs paramètres communs.

La synchronisation cognitive entre les concepteurs a été aussi influencée par cette nouvelle organisation à distance. En effet, la construction d'un espace de connaissance commun est encouragée par l'esprit du groupe, les échanges des informations informelles et le transfert des objets intermédiaires. Vu que cette organisation distribuée à distance limite ces échanges, elle limite par conséquent la dynamique de synchronisation cognitive et la rend plus difficile.

Cela influe aussi sur les processus de résolution des conflits et de prises de décision collaborative qui dépendent de la confiance qu'ont les concepteurs dans les autres partenaires et par leur sentiment d'appartenance à un même groupe et projet très fragilisé par cette architecture distribuée.

Plusieurs mesures doivent être prises pour favoriser la construction collaborative de connaissance partagée entre les acteurs pluridisciplinaires en :

- encourageant le partage d'informations et de données,
- augmentant les phases de synchronisation,
- prévoyant des supports pour l'explication des connaissances métiers...

#### ***IV.8. Problèmes liés au matériel***

Les concepteurs sont amenés durant cette activité à gérer beaucoup de fenêtres et différents logiciels métier sur l'écran de leur poste de travail. Ils ont eu du mal à gérer les différents icônes et à naviguer entre les logiciels.

D'un autre côté, la manipulation des différents périphériques et outils de communication pour le travail collaboratif ont été très problématiques. Les concepteurs ont eu à supporter plusieurs problèmes matériels de connexion et de cohérences entre les différentes versions des outils utilisés. La stratégie de sécurité informatique et les pare-feux ont aussi ajouté une contrainte supplémentaire pour la communication et le transfert des données entre les différents concepteurs.

#### IV.9. Synthèse des problèmes observés

Différents problèmes liés à l'organisation de l'activité collaborative, aux connaissances multidisciplinaires déployés ont été observés durant les expériences de dimensionnement collaboratif que nous avons observées (voir figure 25).

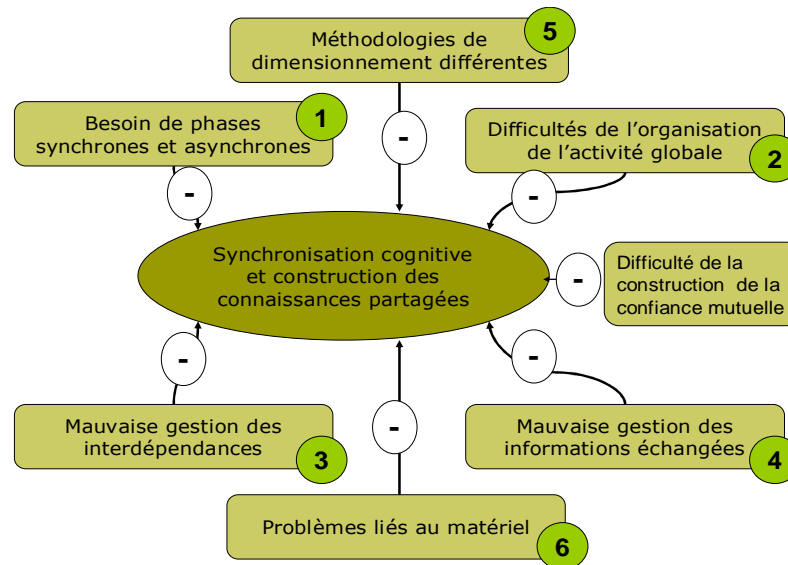


Figure 25 : les problèmes observés durant les expériences

Ces expériences nous ont permis de mettre en évidence la dimension sociale très importante dans cette activité. La connaissance préalable entre les différents intervenants est selon notre point de vue indispensable pour renforcer l'esprit d'équipe et faciliter la construction d'une confiance mutuelle.

Afin de mieux gérer cette activité, il est très important de revoir son organisation en prenant en compte les différences de rôles entre les concepteurs. Il est indispensable de prévoir un rôle spécifique d'animateur ou "architecte" des phases de travail synchrones qui anime les discussions, gère les conflits et tranche pour prendre une décision collaborative d'un chef de projet qui organise l'activité globale tout en veillant au respect du planning et de l'objectif global de celle-ci.

Elles ont aussi montré le besoin de la réorganisation de cette activité collaborative de telle manière à laisser suffisamment le temps aux différents concepteurs pour approfondir leur travail métier. Cependant, il est indispensable de prévoir des phases de travail synchrone durant lesquels les concepteurs mettent en commun leurs contraintes et leurs objectifs. Une prise en charge et une organisation de ces phases de travail synchrone est très importante. En effet, les concepteurs ont à gérer différentes tâches complexes telles que la synchronisation et la confrontation des différents points de vues.

Afin de dimensionner le déclencheur, ils ont à gérer des intérêts antagonistes, à trouver des compromis pour construire ensemble un cahier des charges commun. La complexité est

accentuée par les compétences et les sensibilités différentes des concepteurs ainsi que par des méthodologies de dimensionnement métier différentes.

Durant cette activité, en plus des différentes informations formelles relatives au produit à concevoir, les concepteurs ont à échanger des informations informelles qui sont indispensables pour permettre aux concepteurs de construire un espace de connaissance partagé pour modéliser et dimensionner le déclencheur. Les supports utilisés pour transmettre ces informations sont aujourd'hui très limités, la plupart de ces informations sont véhiculées par le son ou par le graphique.

Les problèmes informatiques liés à l'incompatibilité entre quelques applications ainsi que les problèmes liés au réseau et aux stratégies de sécurité informatique différentes entre les sites ont été aussi lourds à gérer par les concepteurs.

L'ensemble des points évoqués ci-dessus a contribué selon notre point de vue à accentuer la difficulté de la synchronisation cognitive entre les concepteurs. Cela présente selon notre point de vue une cause principale à la difficulté qu'ont eu les étudiants à obtenir un cahier des charges global contenant un ensemble de contraintes inter-métiers cohérentes et acceptées par tous. Il est donc indispensable d'intégrer l'ensemble de ces points pour favoriser une démarche de dimensionnement collaborative, intégrée et à distance.

## **V. Spécification d'une démarche de dimensionnement collaboratif**

L'analyse et l'observation des interactions entre les concepteurs nous ont permis de déceler certains problèmes à résoudre et des besoins d'assistance pour la gestion de l'activité collaborative et sociale des concepteurs. Dans le paragraphe suivant, nous allons présenter un ensemble de spécifications pour satisfaire l'ensemble des besoins que nous avons présentés précédemment.

### ***V.1. Alternance des phases de travail synchrone et asynchrone***

La démarche de dimensionnement que nous voulons instruire doit répondre au besoin qu'ont manifesté les concepteurs d'alterner les phases de travail synchrone et asynchrone. Cette alternance va permettre de mieux organiser l'activité globale. En effet, les phases de travail asynchrones dans les métiers vont être dédiées à l'approfondissement des activités de modélisation et de dimensionnement spécifiques à chaque groupe métier. Elles seront suivies de phases de synchronisation des données et de mise en commun des résultats. Elles vont permettre aux concepteurs d'échanger leurs résultats, de vérifier la cohérence de la solution obtenue et surtout d'intégrer dans les phases suivantes les contraintes multidisciplinaires issues des autres métiers.

## ***V.2. Organisation de l'activité globale***

Différentes mesures ont été prises pour répondre au besoin de l'organisation de l'activité collaborative, nous les développons dans ce paragraphe.

### ***V.2.1. Spécifier différents rôles : un animateur***

Nous jugeons nécessaire d'introduire un rôle d'animateur de débat qui anime les discussions synchrones dans les phases de modélisation et de dimensionnement collaboratives et les guide dans le processus de résolution des conflits et de prise de décision. Ce rôle existe déjà dans toutes les structures industrielles. Le rôle d'un chef de projet nous semble aussi très important pour veiller au respect des plannings et pour gérer le temps et les objectifs globaux de la conception. Il faut par ailleurs, définir clairement la tâche confiée à chaque intervenants dans le projet. Un projet de conception collaboratif doit contenir

- des concepteurs métiers "techniques",
- un animateur des phases de travail synchrones (par exemple : un animateur par phase),
- un chef de projet.

### ***V.2.2. Organiser les phases de travail synchrone : un système de prise de main***

Les phases de travail synchrones permettent par les discussions et les échanges d'informations formelles et informelles d'augmenter la compréhension et le sentiment de confiance entre les concepteurs. Cependant, elles présentent une charge cognitive très importante vu la quantité d'informations que doivent gérer les concepteurs. L'organisation de cette phase de travail synchrone est donc à prévoir. Dans cette perspective, il faut prévoir un système de prise de main permettant de régulariser les interventions entre les concepteurs.

## ***V.3. Aider la prise en charge des interdépendances***

Travaillant sur le même produit et ayant différentes méthodologies de travail et contraintes relatives à leurs métiers respectifs, les concepteurs ont besoin de prendre en compte les différentes interdépendances qu'ils ont avec les autres. Cependant, ces interdépendances ne sont pas forcément très évidentes à détecter, ni à gérer. Une aide est donc à apporter sur ce point.



### *V.3.1. Définir les paramètres communs : un glossaire*

Dans le but d'augmenter l'intégration des contraintes multidisciplinaire, les concepteurs doivent préalablement prendre en compte les paramètres qu'ils ont en commun. Un glossaire de définition des paramètres communs peut selon nous aider les concepteurs à se rendre compte des interdépendances qu'ils ont avec d'autres au plus tôt. Le glossaire doit aussi présenter un espace d'aide auquel se réfèrent les concepteurs pour vérifier la signification de certains paramètres.

### *V.3.2. Détection des paramètres communs: un module de détection*

Pour augmenter la cohérence du modèle global, les interdépendances entre les sous-modèles doivent être gérées de manière très attentionnée durant la phase collaborative de composition. Un module de détection de paramètres communs peut aider les concepteurs à connecter les différentes entrées et sorties communes.

Il est évident que les paramètres communs vont apparaître en cours de l'optimisation. Il est donc important de mettre à jour cette liste à chaque modification et d'en informer les différents concepteurs concernés.

### *V.3.3. Détection des contraintes contradictoires*

Les contraintes d'optimisation définies sur les paramètres communs sont souvent contradictoires, vu les exigences antagonistes des différents groupes – métiers du projet. Pour s'assurer de la faisabilité du produit, il est important de vérifier la cohérence des contraintes définies sur ces paramètres. Un module automatique de gestion de cohérence est donc à spécifier pour répondre à ce besoin.

### *V.3.4. Favoriser la résolution collaborative de conflits*

En cas de conflits dans les contraintes définies sur les paramètres communs, un compromis doit être trouvé durant une phase de travail synchrone. Aider les concepteurs durant cette phase assez complexe est d'une grande importance. Cela permet en effet, d'alléger la charge cognitive de cette phase et guide les concepteurs vers un compromis acceptable par tous.

## ***V.4. Gérer les différents types d'informations échangées***

Pour contribuer à la gestion de divers types de données et d'informations échangées entre les concepteurs durant l'activité de dimensionnement collaborative, nous avons jugé indispensable de créer des espaces de stockage communs. Ils doivent gérer deux types de données indispensables aux concepteurs :

- Les données métiers : telles que les modèles et les cahiers des charges spécifiques
- Les données collaboratives telles que le modèle global composé et le cahier des charges collaboratif.

#### *V.4.1. Stockage des données*

Les espaces de stockage personnels sont à imaginer pour permettre aux différents concepteurs de stocker les différentes données métiers qui sont indispensables pour le dimensionnement du produit tels que les modèles et les cahiers des charges pour l'optimisation.

Les documents construits de manière collaborative durant les phases de travail synchrone doivent être consultables en temps réel et sur simple demande des concepteurs.

Cependant, ces documents doivent être consultable par tous en réservant les droits de modification aux personnes éligibles. Par exemple, un système de prise de main peut être proposé pour autoriser des droits de modification.

#### *V.4.2. La mise à jour des données*

La mise à jour de ces différents types d'informations est indispensable pour le bon déroulement des expériences. Elle doit être effectuée de manière transparente et systématique pour ne pas présenter une charge supplémentaire aux concepteurs. Une fois qu'une modification est faite sur une donnée spécifique à un groupe métier ou pour un document collaboratif, les espaces de stockage de données doivent être mis à jour et une notification est donc envoyée à tous les concepteurs.

### ***V.5. Synthèse des spécifications développées***

Nous avons développé un ensemble de recommandations qui selon nous apportent une aide aux différents problèmes qu'ont rencontrés les concepteurs durant les expériences de dimensionnement collaboratif à distance. Ces spécifications récapitulées dans le tableau 7 vont être utilisées pour définir une démarche de dimensionnement collaboratif multidisciplinaire ainsi que l'environnement d'aide associé.

**Tableau 5 : Les spécifications pour un environnement d'aide au dimensionnement**

<b>Problème observé</b>	<b>solution proposée</b>
Besoin des phases de travail synchrone et asynchrone	Une démarche qui alterne les deux phases de travail
Difficulté de gestion de l'activité globale	Définir un rôle de chef de projet Un système de prise de main
Difficulté de gestion des interdépendances	Un glossaire de définition des paramètres communs Un module de détection des paramètres communs entre les modèles Vérification de la cohérence des contraintes Une aide à la résolution des contraintes contradictoires
Mauvaise organisation des informations échangées	Prévoir des espaces de stockage pour les données spécifiques aux métiers ou pour les documents collaboratifs Mise à jour automatique

### ***Conclusion***

Dans ce chapitre, nous avons présenté une démarche originale d'analyse dans le domaine du génie électrique. Nous sommes partis d'expériences de conception réelles d'un déclencheur électromécanique que nous avons observées et analysées. Les analyses macroscopiques réalisées ont permis de mettre en évidence différentes démarches de dimensionnement collaboratif via internet : une démarche de dimensionnement séparée et une démarche de dimensionnement intégrée et globale.

Bien que la stratégie intégrée soit, d'un point de vue théorique et formel, plus efficace et permette aux différents concepteurs d'aboutir plus rapidement à une solution commune acceptable par tous, les observations effectuées dans le cadre des expériences pédagogiques (ENSIEG/ENSHMG) ont montré qu'elle était difficile à mettre en place et n'émerge pas naturellement.

Une analyse des observations microscopiques du corpus obtenues nous a permis de détecter divers types de problèmes liés à la complexité de cette activité collaborative à distance. Nous nous sommes basés sur cette analyse pour spécifier une démarche favorisant

l'intégration des contraintes multi – métiers et la coopération durant l'activité de dimensionnement à distance via internet.

Pour guider les concepteurs dans cette démarche intégrée et partant des besoins exprimés, nous avons spécifié différentes fonctionnalités d'un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif qui guide les concepteurs dans leurs activités et les oblige à suivre une approche de dimensionnement intégrée se basant sur la modélisation et l'optimisation globale de la solution. La présentation de l'environnement de dimensionnement obtenu ainsi que ces différentes fonctionnalités feront l'objet du chapitre suivant.

## *CHAPITRE III*

---

# *CoSTo : UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF A DISTANCE*

---

## **CHAPITRE III**

### ***CoSTo : UN ENVIRONNEMENT D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF A DISTANCE***

#### ***Introduction***

En nous basant sur les différentes spécifications d'outils recensées durant les phases d'observation et d'analyse présentées dans le chapitre précédent, diverses fonctionnalités d'outil ont été déduites. Cette étude nous a aidé à la spécification d'un processus de dimensionnement intégré qui permet de gérer les contraintes multidisciplinaires et multi-physiques liées au produit. Un outil d'aide au dimensionnement collaboratif à distance, via Internet, a été réalisé pour guider les concepteurs dans une démarche de dimensionnement intégré. Nous consacrons le présent chapitre à la présentation de cet environnement d'aide au dimensionnement collaboratif via internet " *CoSTo: Collaborative Sizing Tool* " ainsi qu'à ses différentes fonctionnalités.

Dans la première partie, nous présentons la démarche de dimensionnement intégrée sur laquelle se base notre environnement. Cette démarche est structurée selon deux phases : une phase pour la composition collaborative du modèle et une phase de définition collaborative des contraintes pour l'optimisation.

Cet environnement a été défini selon une architecture client-serveur permettant son utilisation dans un cadre collaboratif à distance via internet. Nous présentons donc dans la seconde partie, l'architecture et les caractéristiques de CoSTo.

Nous consacrons la dernière partie de ce chapitre, à la présentation des fonctionnalités de cet environnement relativement aux deux phases de modélisation et de dimensionnement collaboratifs.

#### **I. Démarche de dimensionnement intégrée**

L'approche de dimensionnement collaborative que nous proposons (voir figure 26) s'appuie sur la démarche d'optimisation utilisée au sein de l'équipe CDI. Nous présentons dans le paragraphe suivant les différents phases de cette démarche et l'environnement logiciel sur lequel elle repose.

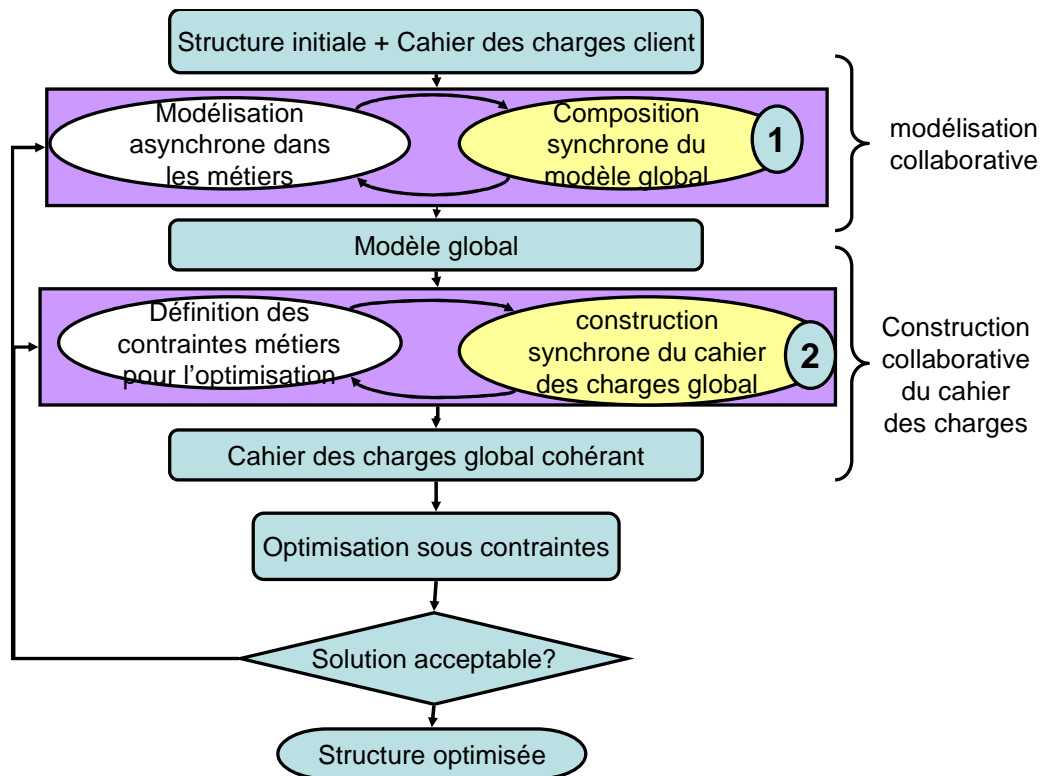


Figure 26: Démarche intégrée pour le dimensionnement collaboratif

### *1.1. Phase de modélisation collaborative*

La phase de construction du modèle global du produit à concevoir est une phase très importante dans le processus de dimensionnement. Durant celle-ci, les concepteurs, participant au projet, identifient les interdépendances existantes entre leurs modèles respectifs. Le modèle global sera obtenu une fois que tous les paramètres communs auront été connectés.

Conformément aux spécifications développées au chapitre précédent, cette phase se compose de deux phases de travail:

- Une phase de travail asynchrone dans les métiers.
- Une phase de travail collaborative synchrone.

Durant la phase de travail asynchrone, les concepteurs développent leur modèle de dimensionnement ainsi que les différents critères ou contraintes à respecter. Une fois définie, le modèle va être encapsulé dans un composant logiciel de calcul.

Durant la phase collaborative synchrone, les concepteurs vont composer le modèle global. Ils doivent pour cela connecter les paramètres d'entrée et de sortie communes qui lient plusieurs modèles. La gestion de cette phase collaborative sera assurée par un architecte qui se charge d'animer les débats et guide les concepteurs vers la construction du modèle global.

### ***1.2.Phase de construction collaborative du cahier des charges pour l'optimisation***

Comme dans le cadre d'une activité mono-acteur, dans le cadre du dimensionnement collaboratif, une fois que le modèle global de dimensionnement est défini, les concepteurs doivent passer par une phase de spécification des contraintes pour définir le cahier des charges pour l'optimisation. Cela commence par une phase de travail asynchrone où chaque concepteur définit les contraintes et les spécifications qui correspondent aux besoins dans son métier. Puis cela est suivi d'une phase synchrone, où une confrontation des différentes propositions est indispensable pour définir de manière collaborative et cohérente un cahier des charges global pour l'optimisation.

### ***1.3.Phase d'optimisation et analyse des résultats***

Durant le processus de dimensionnement, les concepteurs ont à résoudre deux types de problèmes : affiner leurs modèles et définir les bonnes spécifications et contraintes sur le cahier des charges. Une caractéristique fondamentale de cette activité est que ces deux aspects du problème de dimensionnement évoluent de manière dynamique avec la solution elle-même. En effet, au fur et à mesure que les concepteurs avancent dans leurs activités, ils se rendent compte en analysant les résultats de l'optimisation qu'ils doivent modifier les contraintes du cahier des charges, voire modifier le modèle pour l'adapter aux nouvelles contraintes. Une phase d'analyse collaborative des résultats de l'optimisation permet de mettre en évidence les problèmes à résoudre et d'aider à définir les tâches suivantes à exécuter dans le projet collectif.

### ***1.4.Désignation d'un animateur***

Jusque là, les phases de travail collaboratif synchrone regroupaient les différents concepteurs représentant les différents groupes-métiers participants au projet. La gestion de telles phases était difficile sans un animateur, ce qui a été confirmé durant les expériences.

Nous avons donc défini un rôle d'animateur qui aide les concepteurs à gérer les phases collaboratives de construction du modèle global ou du cahier des charges pour l'optimisation. Il intervient dans le projet de différentes manières:

- Il veille au respect du planning et des objectifs définis pour chaque phase de cette démarche.
- Il anime les discussions durant les phases de travail synchrone.
- Il joue le rôle de médiateur en cas de conflits et aide les concepteurs à trouver un compromis acceptable par tous.



- Il dispose des droits de modification sur les documents collaboratifs construits durant le projet.

Le rôle d'animateur peut être assuré par le chef du projet, comme il peut être assuré par un concepteur différent selon les phases de conception.

Durant toutes les phases de travail asynchrones dans les métiers, les concepteurs peuvent continuer à s'appuyer sur les outils de CAO habituels qui les aident à gérer les tâches compliquées et qui allègent leurs charges cognitives. Cependant, il est indispensable de les aider à gérer les différents problèmes complexes qui relèvent plutôt du domaine collaboratif inter-métier.

## **II. L'environnement support à cette démarche**

En nous appuyant sur les fonctionnalités que nous avons définies dans le chapitre précédent (voir tableau 5), nous allons présenter l'environnement d'aide au dimensionnement collaboratif: CoSTo "the Collaborative Specification Tool" qui a été défini pour accompagner les concepteurs dans cette démarche. Les fonctionnalités de cet environnement ont été réalisées pour répondre aux phases 1 et 2 de la démarche de dimensionnement intégrée présentée dans la figure 26.

### ***II.1. La réalisation informatique***

Le développement de cet environnement a été réalisé avec le langage de programmation orienté objet: JAVA [*Jav*]. Les concepteurs disposent d'interfaces graphiques qui leur permettent de visualiser et de manipuler les différentes données nécessaires pour la phase de modélisation et la phase d'optimisation (voir figure 27).

Le développement de l'IHM de CoSTo a été effectué à l'aide du noyau d'interfaçage graphique de la plateforme de développement JAVA Netbeans [*NET*] qui offre un certain nombre de services de base pour la gestion de l'interfaçage graphique des applications logicielles.

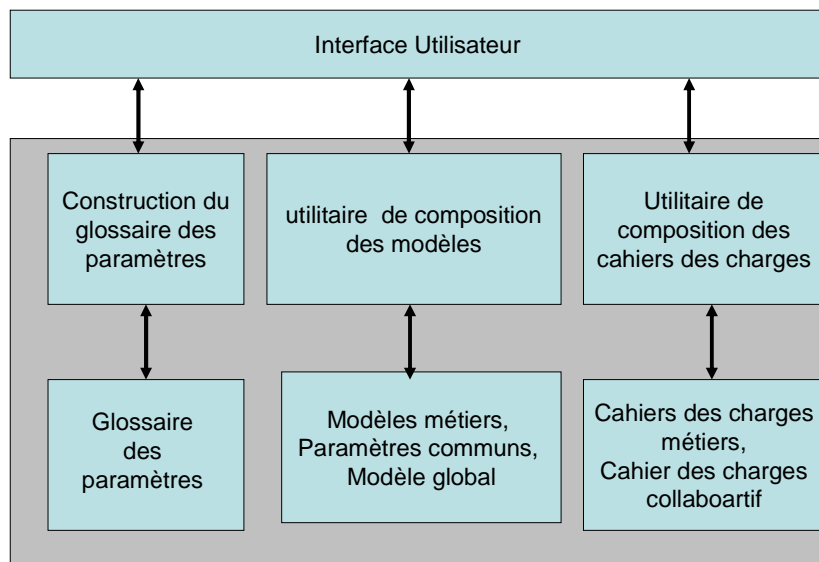


Figure 27 : L'architecture de l'environnement

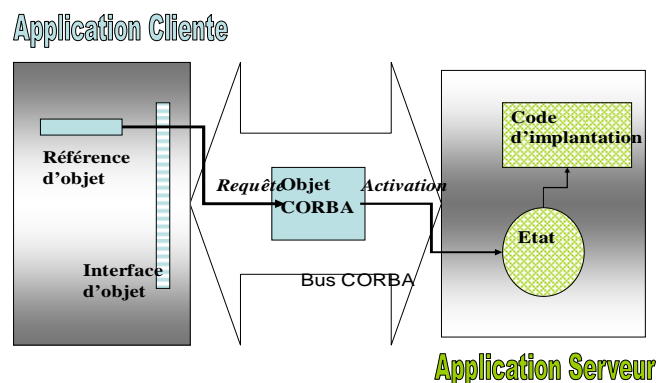
### ***II.2.L'architecture de CoSTo: Client-Serveur***

L'environnement a été développé selon une architecture client-serveur communiquant à travers le bus d'objets CORBA [Cor], nous allons définir dans le paragraphe suivant les principaux concepts liés à cette architecture.

CORBA "Common Object Request Broker Architecture" est un « middleware » orienté objet. "Ce bus d'objets répartis offre un support d'exécution masquant les couches techniques d'un système réparti (système d'exploitation, processeur et réseau) et il prend en charge les communications entre les composants logiciels formant les applications réparties hétérogènes" [Mer97].

Le bus CORBA est donc un intermédiaire à travers lequel dialoguent les objets via le réseau Internet. Il offre ainsi aux objets un environnement d'exécution qui masque l'hétérogénéité liée aux langages de programmation, aux systèmes d'exploitation, aux processeurs et aux réseaux.

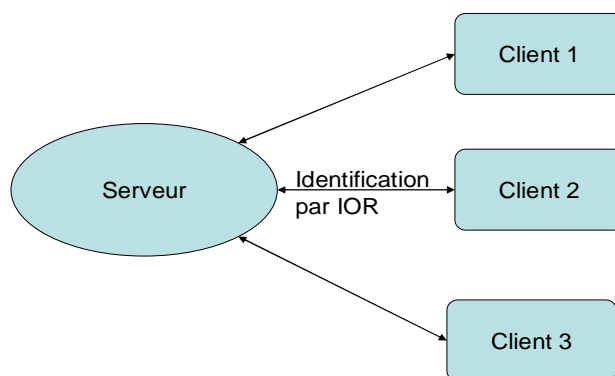
Le bus CORBA propose un modèle orienté objet client-serveur pour la coopération entre les applications réparties. Chaque application peut exporter certaines de ses fonctionnalités ou services sous la forme d'objets CORBA. Les interactions entre les applications sont alors matérialisées par des appels à distance de méthodes. La notion client/serveur intervient uniquement lors de l'utilisation d'un objet : l'application implantant l'objet est le serveur, l'application utilisant l'objet est le client (voir figure28).



**Figure 28 : Architecture client-serveur [Mer]**

L'environnement de dimensionnement collaboratif CoSTo a été développé selon cette architecture. Il s'agit d'une application répartie selon laquelle les différents concepteurs participant au projet vont dialoguer et travailler à distance "via Internet" par l'intermédiaire du bus CORBA.

Les clients se connectent au serveur par une référence IOR (Interoperable Object Reference) générée par ce dernier (voir figure 29)



**Figure 29 : Connexion Client-Serveur**

Il a été conçu pour fonctionner parallèlement à des outils de communications qui assurent la transmission audio-visuelle des discussions informelles des concepteurs (voir tableau 5). Il permet aux différents concepteurs d'échanger les documents et les données nécessaires pour le dimensionnement de la structure tels que les modèles de dimensionnement encapsulés dans des composants logiciels de calcul (COB) et les cahiers des charges pour l'optimisation sous forme de fichiers au format XML (voir figure30). Nous allons consacrer le paragraphe suivant à l'exposition de ces différents types de données.

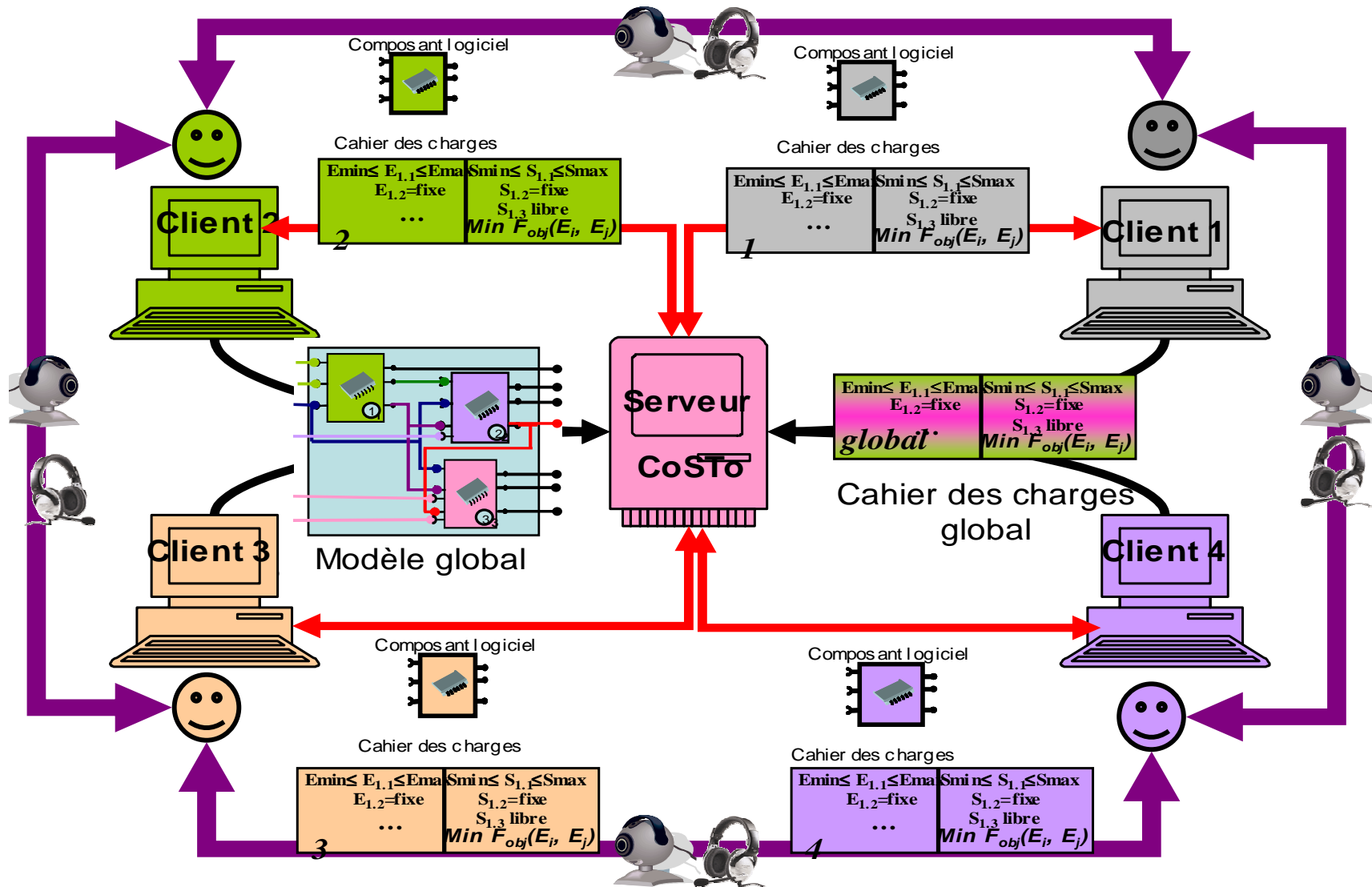


Figure 30 : Environnement de dimensionnement collaboratif via internet

### II.3. Les données manipulées par cette démarche

Durant les phases de modélisation et d'optimisation instruites par cet environnement, les concepteurs manipulent deux types de données:

- les documents spécifiques aux métiers,
- les documents construits de manière collaborative (voir tableau 6).

**Tableau 6 : Divers types de données manipulées durant ce processus**

	Données métiers	Données collaboratives
Phase de modélisation	Les composants logiciels de calcul (COB) spécifiques à chaque métier	Glossaire des paramètres communs
		La connectique des modèles
		Le modèle global
Phase d'optimisation	Les cahiers des charges spécifiques aux différents métiers	Cahier des charges initial
		Cahier des charges global

#### II.3.1. Les données liées à la phase de modélisation

##### II.3.1.1. Les composants logiciels de calcul

Au terme de la phase de modélisation asynchrone dans les métiers, les concepteurs doivent fournir un composant logiciel de calcul généré selon la norme COB. Nous rappelons qu'un composant logiciel de calcul doit fournir au moins les listes de paramètres d'entrée et de sortie du modèle qu'il encapsule. Notre environnement prend en charge l'introspection de chaque composant et fournit par conséquent la liste de ses paramètres entrée et de ses paramètres de sortie (voir figure 31).



**Figure 31 : Introspection des composants par CoSTo**

##### II.3.1.2. Un glossaire des paramètres

Pour aider les concepteurs à gérer les interdépendances entre leurs modèles, CoSTo a été doté d'un glossaire de paramètres. Il permet d'avoir une trace écrite, disponible tout au long du

processus, de la signification des paramètres importants et aide à la détection et la gestion des paramètres communs entre plusieurs modèles. Il est constamment disponible dans le serveur sous la forme d'un fichier au format Xml contenant une ensemble de paramètres, sous forme d'objets JAVA, dont chacun est caractérisé par :

- le nom du paramètre,
- la signification du paramètre ou un autre détail,
- le nom du concepteur qui l'a défini (voir figure 32)

```

<GLOSSAIRE>
  <PARAMETER Name="c11">
    <DETAILS Details="entrefer bobine/
    corps" />
    <ADDED added_By="C.électrique" />
  </PARAMETER>
  <PARAMETER Name="c7">
    <DETAILS Details="r7-r6/
    jeu fonctionnel mécanique = entrefer magnétique" />
    <ADDED added_By="C.fabrication" />
  </PARAMETER>
  .
  .
  .
</GLOSSAIRE>

```

Figure 32 : Structure du glossaire des paramètres au format XML

### II.3.1.3. La connectique des modèles

Les concepteurs doivent gérer différentes interdépendances entre leurs modèles. En effet, deux types d'interdépendance sont à prendre en compte (voir figure 33):

- des modèles partageant le même paramètre d'entrée ( $E_i/E_j$ )
- des modèles utilisant un paramètre de sortie d'un autre modèle ( $S_i/E_j$ ).

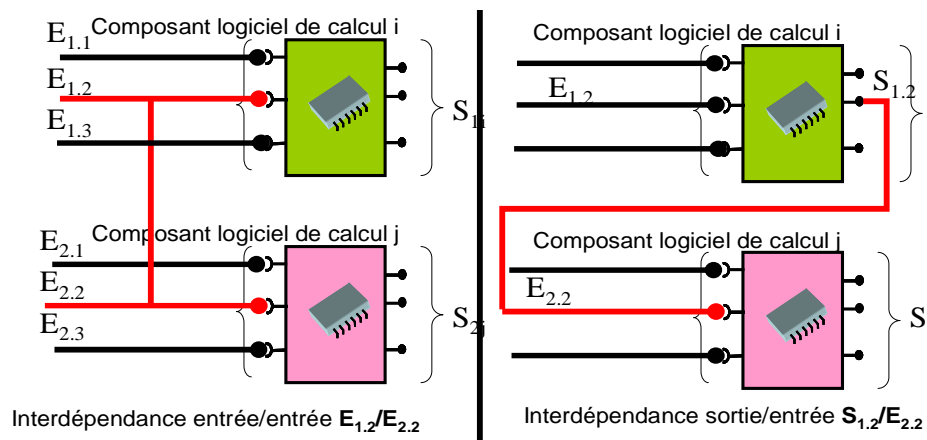


Figure 33 : Interdépendances entre les modèles

Durant la phase de composition des modèles, les concepteurs manipulent donc un fichier au format Xml contenant la liste détaillée de ces deux types de connectique ; une pour les connexions entrée/entrée, et une pour les connexions sortie/entrée. Chaque paramètre appartenant à ce fichier, est caractérisé par un "objet" contenant :

- le nom du paramètre,
- le modèle dans lequel il est défini,
- le type (entrée/sortie)
- la liste des paramètres auxquels il est connecté (voir figure 34).

```

<Connexions>
  <INPUT_INPUT>
    <PARAMETER Name="e">
      <DETAILS Detail ="entrefer"/>
      <ADDED added_By="C.électrique"/>
      <TYPE Type="input" />
      <CONNECTED_TO>
        <PARAMETER Name="j"/>
        <ADDED added_By="C.Mécanique"/>
        <TYPE Type="input" />
      </CONNECTED_TO>
    </PARAMETER>
    ...
  </INPUT_INPUT>
</ Connexions >

```

**Figure 34 : Structure du fichier XML de connectique des modèles**

#### II.3.1.4. Le modèle global

Les concepteurs vont construire d'une manière collaborative un modèle global. Au terme de cette composition des modèles, CoSTo génère un fichier au format Xml, qui contient les informations nécessaires à la génération du composant logiciel de calcul en s'appuyant sur un outil de composition VisualComposer [Del03] développé à cet effet. Il contient:

- la liste des paramètres d'entrée,
- la liste des paramètres de sortie du modèle global.

Pour chacun de ces paramètres, nous précisons le nom, le modèle et le type du paramètre auquel il est connecté (exemple: le paramètre global "e=j" est connecté au paramètre spécifique au modèle électrique "e" et au paramètre spécifique au modèle mécanique "j" (voir figure 35))

```

<GLOBAL_MODEL>
  < GLOBAL_INPUT>
    <INPUT Name= " j=e">
      < PARAMETER Name = " e " />
        <TYPE type= " input" />
        <MODEL model= " électrique" />
      </PARAMETER>
    < PARAMETER Name = " j " />
      <TYPE type= " input" />
      <MODEL model= " Mécanique" />
    </PARAMETER>
  </INPUT>
  ...
< /GLOBAL_INPUT>
< GLOBAL_OUTPUT>
  <INPUT Name= " Fores">
    < PARAMETER Name = " Fores " />
      <TYPE type= " output" />
      <MODEL model= " Mécanique" />
    </PARAMETER>
  </INPUT>
  ...
< /GLOBAL_OUTPUTS>
</ GLOBAL_MODEL >

```

**Figure 35 : Structure xml du fichier contenant la liste des paramètres d'entrée sortie du modèle global**

### II.3.2. Les données liées à la phase d'optimisation

#### II.3.2.1. le cahier des charges initial

Pour construire un cahier des charges global, les concepteurs partent d'un cahier des charges initial qui contient la liste des paramètres d'entrée et la liste des paramètres de sortie. Ils doivent par la suite définir l'ensemble des contraintes d'égalité et d'inégalité sur ces paramètres (voir annexe III).

Ces données sont gérées par notre environnement sous forme de fichier Xml. Au départ, ce fichier ne contient que les noms et les significations des paramètres (voir figure 36).

```

</SPECIFICATIONS>
  <INTPUT name="k">
    <DETAILS description="raideur du ressort" />
  </INPUT>
  <INPUT name="e">
    <DETAILS description="épaisseur de la tole" />
  </INPUT>
  ...
  <OUTPUT name="h">
    <DETAILS description="hauteur du ressort" />
  </OUTPUT>
  <OUTPUT name="fob">
    <DETAILS description="Fonction objectif" />
  </OUTPUT>
  ...
</SPECIFICATIONS>

```

**Figure 36 : Structure d'un cahier de charge initial**



### II.3.2.2. les cahiers des charges métiers

Durant les phases de travail dans les métiers, les concepteurs vont définir l'ensemble des contraintes d'égalités et d'inégalités sur ces paramètres. Désormais, le fichier Xml du cahier des charges contient (voir figure37) :

- le type de la contrainte (fixe, ou par intervalle ou libre),
- la ou les valeurs associées à la contrainte.

```
<SPECIFICATIONS>
  <INPUT name="nr">
    <DETAILS description="« Nombre de spire" />
    <CONSTRAINT>
      <INIT value="17.0" />
      <MIN value="2.0" />
      <MAX value="30.0" />
    </CONSTRAINT>
  </INPUT>
  <INPUT name="muzero">
    <DETAILS description=" Constante magnétique " />
    <CONSTRAINT>
      <FIXED value="1.2566E-6" />
    </CONSTRAINT>
  </INPUT>
  ...
  <OUTPUT name="volAim">
    <DETAILS description="Volume de l'aimant" />
    <CONSTRAINT />
  </OUTPUT>
  <OUTPUT name="fob">
    <DETAILS description="« Fonction objectif" />
    <CONSTRAINT>
      <MINIMIZE />
      <MIN value="0.0" />
      <MAX value="30000.0" />
    </CONSTRAINT>
  </OUTPUT>
  ...
</SPECIFICATIONS>
```

Figure 37 : Structure Xml d'un fichier d'un cahier des charges

### II.3.2.3. Le cahier des charges Collaboratif

Pour obtenir un cahier des charges global et cohérent, les concepteurs ont à gérer plusieurs conflits d'intérêts sur les contraintes des paramètres communs. Pour pouvoir suivre l'évolution de ce cahier des charges, les concepteurs ont à leur disposition un fichier dynamique constamment disponible sur le serveur. Pour chaque liste de paramètres d'entrée ou de sorties, ce fichier contient,

- les paramètres d'entrée et de sortie cohérents,
- les paramètres d'entrée et de sortie conflictuels qui restent à valider, de manière collaborative en rappelant les contraintes définies par chaque groupe métier (voir figure 38).

```

</SPECIFICATIONS>
  < VALIDATED_INPUT/>
  < VALIDATED_OUPUT/>
  <INPUTS_TO_VALID/>
  <OUTPUTS_TO_VALID>
    <OUTPUT name="c15">
      <DETAILS description="contrainte géométrique" />
      <MODEL_NAME Added_By="concepteur électrique" />
      <CONSTRAINT>
        <MIN value="0.5" />
        <MAX value="4.0" />
      </CONSTRAINT>
    </OUTPUT>
    <OUTPUT name="c15">
      <DETAILS description="contrainte géométrique" />
      <MODEL_NAME Added_By="concepteur mécanique" />
      <CONSTRAINT>
        <FIXED value="2.0" />
      </CONSTRAINT>
    </OUTPUT>
  ...
</OUTPUTS_TO_VALID>
</SPECIFICATIONS>

```

**Figure 38: Evolution de la résolution des conflits du cahier des charges collaboratif**

Une fois qu'un compromis a été trouvé par les différents concepteurs, le cahier de charges collaboratif est enregistré dans un fichier Xml ayant la structure décrite par la figure 37. Il est ensuite utilisé par des outils d'optimisation sous contraintes tel que CdiOptimizer [Mag04].

### III. Les Fonctionnalités globales de CoSTo

Nous représentons maintenant, les fonctionnalités de CoSTo [Amm06-a] que nous avons définies à partir des spécifications effectuées dans le chapitre précédent (voir tableau 5).

#### III.1. Le système de prise de main

Durant les phases de travail collaborative synchrone et afin de gérer les différents problèmes de synchronisation, des droits d'accès et de modification des documents partagés, CoSTo est équipé d'un système de prise de main.

Le système de prise de main permet au concepteur d'avoir des droits supplémentaires relatifs à la phase du processus de dimensionnement en question :

- Il permet d'avoir des droits de modification du cahier des charges pour pouvoir le compléter ou le modifier en y ajoutant ou en supprimant des paramètres.
- Il est aussi indispensable pour pouvoir modifier et mettre à jour les documents collaboratifs disponibles sur le serveur (la liste des paramètres communs, le cahier des charges global)

Durant les phases collaboratives, le système de prise de main permet de désigner un animateur qui mène les discussions et gère les phases de travail collaboratif de construction du modèle global ou du cahier des charges.

### III.2. Un glossaire des paramètres communs

Un glossaire contenant les paramètres communs à plusieurs modèles a été prévu pour aider les concepteurs à bien préciser la signification de leurs paramètres. Le glossaire est construit de manière collaborative. Il est enrichi par les propositions des concepteurs tout au long du processus. Les concepteurs peuvent l'enregistrer en local et l'utiliser durant les phases de modélisation asynchrone.

### III.3. Le stockage des données métiers

Pour aider les concepteurs à gérer les différents types de données leur permettant de dimensionner la structure, un espace de stockage est disponible sur le serveur de CoSTo (voir partie 1 de la figure 39). Il permet de mettre en ligne les différents documents métiers nécessaires au dimensionnement tels que :

- les composants logiciels de calcul générés selon la norme « COB »
- les divers cahiers des charges formulés par les différents concepteurs sous format xml.

Ces différents objets sont répertoriés selon le nom de leur concepteur dans un espace créé à cet effet au niveau du serveur.

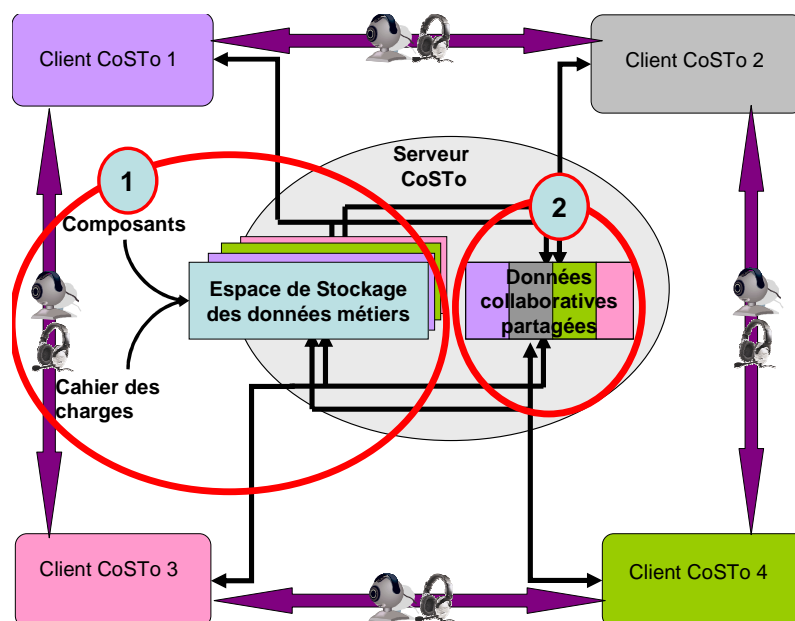


Figure 39 : Espace de Stockage et de partage des données

### ***III.4. Le partage des documents collaboratifs***

CoSTo permet aussi de partager les documents que doivent construire les concepteurs de manière collaborative (voir partie 2 de la figure 39). Il peut s'agir du :

- glossaire des paramètres communs, qui contient la liste des paramètres communs que les concepteurs ont défini ou validé de manière collaborative
- modèle global obtenu à partir de la composition des différents composants de calcul proposé par chaque concepteur
- cahier des charges global qui contient les différentes spécifications validées par les différents concepteurs.

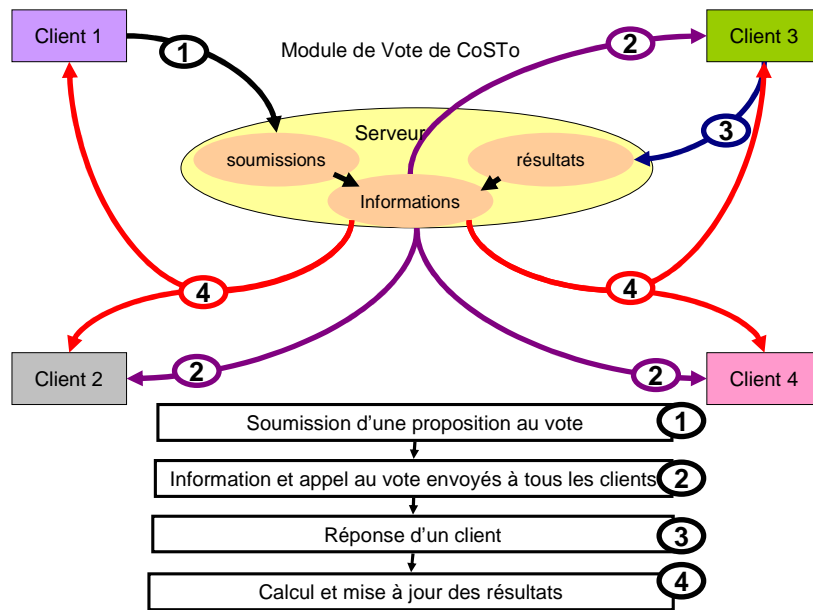
L'ensemble de ces informations (la liste des composants logiciels de calcul, la liste des cahiers de charges, le glossaire des paramètres communs) est représenté sous forme de tableaux au niveau de chaque interface client. A chaque modification de ces documents, une notification de mise à jour est systématiquement envoyée à chacun des concepteurs. L'IHM est systématiquement rafraîchie par le serveur.

Pour le cahier des charges collaboratif, après chaque modification, une notification de mise à jour est envoyée à tous les concepteurs. Celui qui souhaite le consulter, se charge de télécharger sa dernière version disponible en permanence sur le serveur.

### ***III.5. Le module de vote***

Dans le but d'aider les concepteurs à trouver un compromis en cas de conflit, CoSTo a été doté d'un module de vote. Ils peuvent durant la phase de construction collaborative du cahier des charges, par exemple, soumettre au vote une proposition d'un intervalle de valeur pour un paramètre donné au vote (par exemple  $x_{\min} < x < x_{\max}$ ). Il s'agit d'un outil consultatif qui aide les concepteurs à exprimer leurs positions, cependant, la décision finale est prise par l'animateur de la phase collaborative en concertation avec les concepteurs intéressés par la proposition.

A chaque nouvelle proposition soumise au vote, le serveur envoie la proposition et un message d'appel au vote aux différents concepteurs. A chaque nouvelle réponse, les résultats du vote sont mis à jour en temps réel au niveau de chaque client (voir figure 40).



**Figure 40: Module de vote de CoSTo**

Nous allons maintenant détailler les scénarios et les fonctionnalités proposées par CoSTo d'abord par rapport à la phase de modélisation collaborative puis par rapport à la phase d'optimisation.

#### **IV. Les fonctionnalités de CoSTo liées à la phase de modélisation collaborative**

Les concepteurs commencent par une première phase de développement des modèles de dimensionnement dans leurs métiers respectifs (phase 1 de la figure 41). Ils sont amenés durant cette phase à alterner avec des phases collaboratives pour ajouter des paramètres au glossaire dans le but :

- de définir et réserver des noms de paramètres métiers tout en gardant une trace,
- d'explicitier des interdépendances par la définition collaborative des paramètres communs.

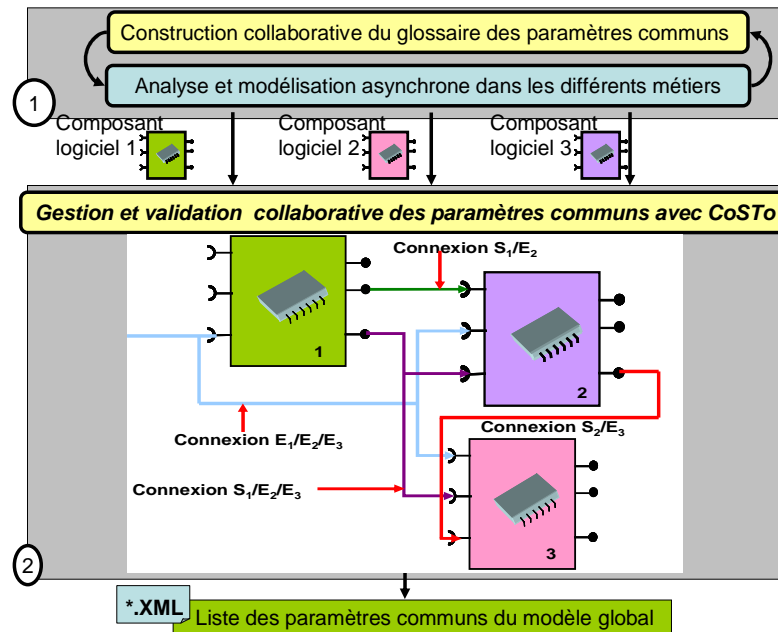


Figure 41: La phase de modélisation collaborative

Une fois tous les modèles métiers générés, les concepteurs passent à une phase de composition collaborative synchrone du modèle global (phase 2 de la figure 41). Ils se basent sur les fonctionnalités de CoSTo d'aide à la composition des modèles et sur les discussions parallèles entre eux assurées par les outils de communication, pour générer une liste des différents paramètres communs entre tous les modèles. Nous rappelons que celle-ci sera utilisée par la suite pour la génération du modèle global moyennant un outil métier spécifique: le Cob Composer [Del03].

Afin d'accompagner les concepteurs durant ces phases de composition collaborative du modèle global, un scénario en six phases a été spécifié et instrumenté dans l'environnement d'aide CoSTo (voir figure 42) :

- une phase de construction collaborative du glossaire des paramètres avec des allers- retours en phase de modélisation asynchrone dans les métiers (phase 1 de la figure 42),
- une phase d'introspection des composants logiciels de calcul (phase 2 de la figure 42),
- une phase de détection des paramètres ayant la même sémantique (phase 3 de la figure 42),
- une phase de gestion et de validation des connexions entre les paramètres ayant le même nom (phase 4 de la figure 42),
- une phase de connexion des paramètres communs ayant des noms différents (phase 5 de la figure 42),

- et enfin, la phase de génération du composant logiciel de calcul encapsulant le modèle global (phase 6 de la figure 42).

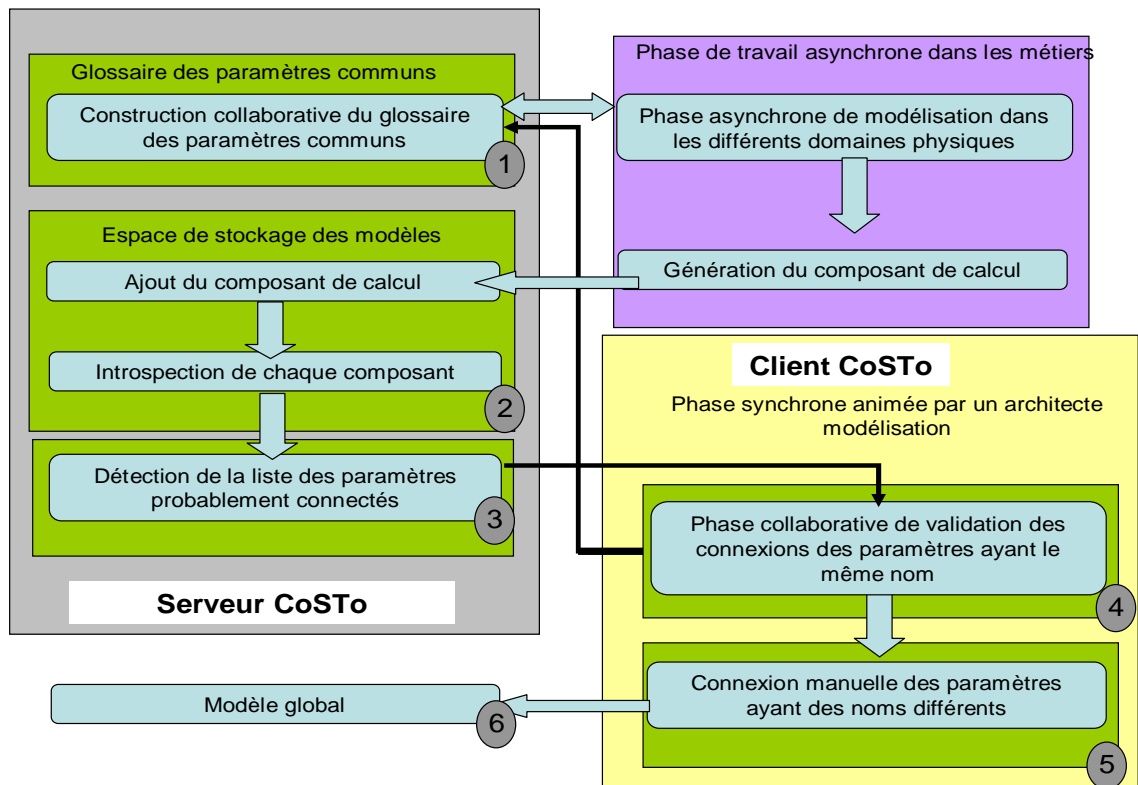


Figure 42 : Les phases de construction collaborative du modèle global

Nous allons maintenant détailler les fonctionnalités de CoSTo relativement à chacune de ces phases.

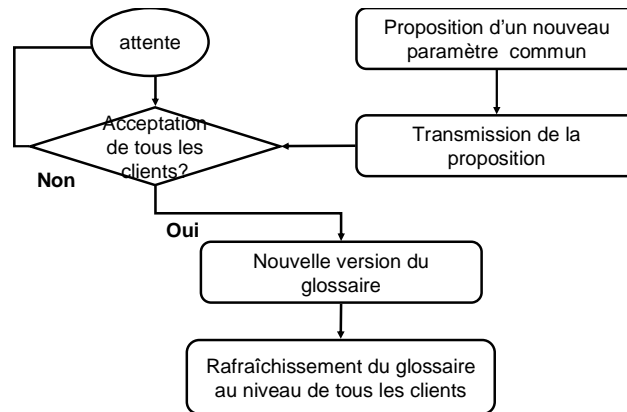
#### IV.1. Phase 1 : construction collaborative du glossaire des paramètres communs

Notre environnement a été doté d'un glossaire pour aider les concepteurs à bien préciser la signification de leurs paramètres et à détecter les paramètres communs entre les différents modèles de dimensionnement. Un paramètre ne peut être ajouté au glossaire, qu'après l'acceptation de tous les concepteurs. En effet, pour ajouter un paramètre dans le glossaire, le concepteur formule une proposition contenant le nom et la signification du paramètre. CoSTo enregistre cette proposition dans un tableau contenant:

- le nom du paramètre,
- la signification exacte ou d'autres détails importants,
- le concepteur ayant formulé la proposition.

Ce tableau, sera automatiquement transmis via le serveur à tous les clients. CoSTo met à jour l'IHM de chaque client et l'informe de la proposition reçue. Durant une phase de

discussion collaborative à travers les outils de communication disponibles, les concepteurs explicitent leurs points de vues et définissent la signification exacte retenue pour cette proposition. Après l'acceptation par tous les clients, la proposition est validée et ajoutée au glossaire. La dernière version du glossaire est par la suite mise à jour par le serveur et systématiquement rafraîchie chez tous les clients (voir figure43).



**Figure 43 : Modification et mise à jour du glossaire des paramètres communs**

La détection des paramètres communs se fait au fur et à mesure que les concepteurs avancent dans la modélisation asynchrone dans les métiers du produit. La construction du glossaire se fait donc de manière dynamique et évolutive. Ainsi, CoSTo permet aux différents concepteurs d'enregistrer le glossaire en local. Ils peuvent ainsi le consulter s'ils en ont besoin, durant leurs phases de travail asynchrone dans les métiers.

Pour les phases de travail collaboratives suivantes, l'animateur se charge de remettre le fichier au niveau du serveur. Par la suite, CoSTo l'analyse, récupère toutes les informations qu'il contient et les envoie à nouveau à tous les clients.

#### ***IV.2. Phase 2 : l'ajout et l'inspection des composants logiciels métiers***

Après la phase de modélisation dans les métiers, et une fois que le composant logiciel de calcul représentatif de chaque modèle est généré, chaque concepteur peut se connecter au serveur et y ajouter son composant (voir figure 44).



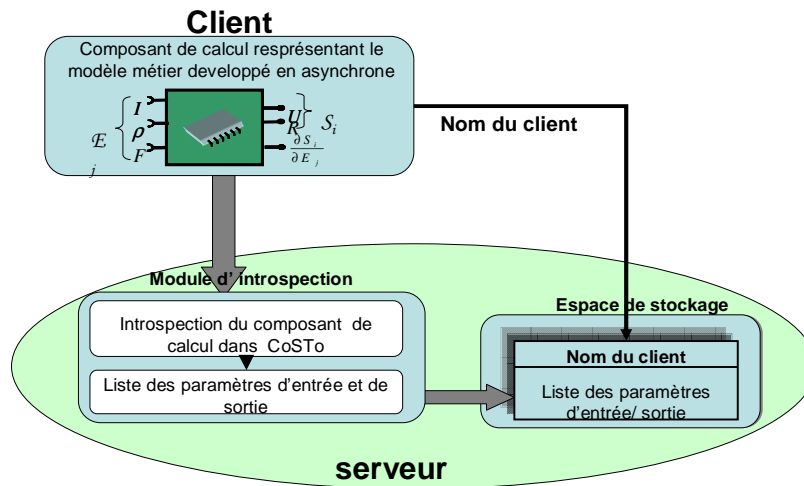


Figure 44: Introspection et stockage des composants logiciels

Pour chaque nouveau modèle ajouté sur le serveur, en plus de la notification du serveur, une nouvelle fenêtre représentant le modèle, se rajoute automatiquement sur l'IHM de chaque client. CoSTo prend en charge l'introspection de chaque composant logiciel de calcul généré selon la norme COB. Il en extrait la liste des paramètres d'entrée et la liste des paramètres de sortie du modèle qu'il encapsule. Ces deux listes vont être stockées selon le nom du concepteur dans l'espace de stockage des composants disponibles sur le serveur. L'information est par la suite transmise à tous les clients en mettant à jour la liste des composants logiciels et en rajoutant au niveau de chaque interface client, un tableau contenant la liste des paramètres d'entrée et de sortie associé au nouveau composant (voir figure 45).

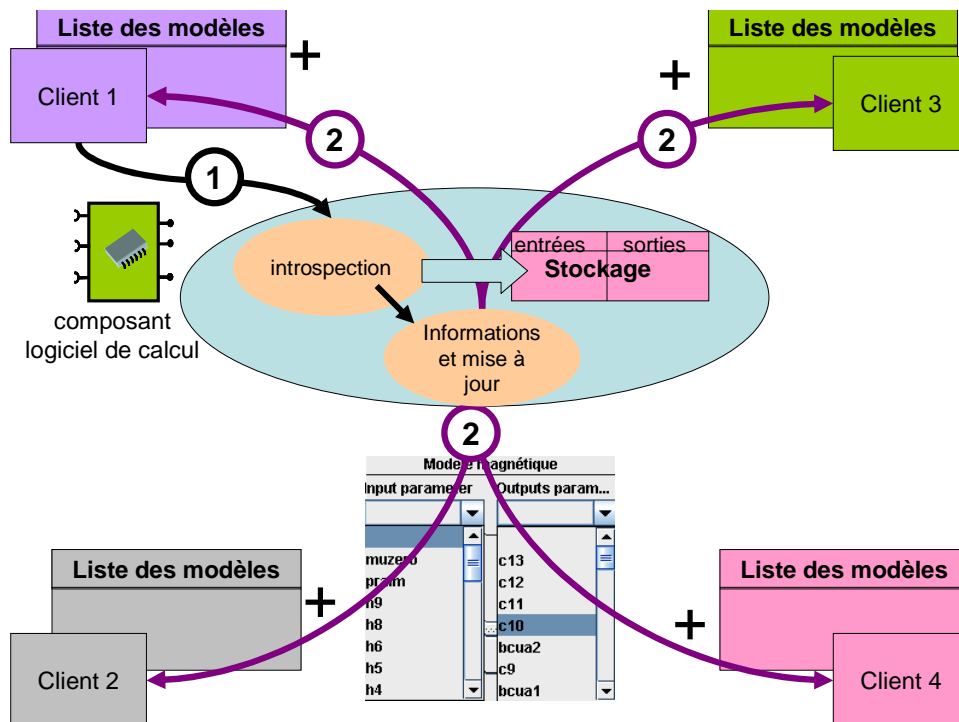


Figure 45 : Ajout d'un composant logiciel de calcul au serveur

### IV.3. Phase 3 : détection des paramètres communs

Les concepteurs doivent gérer plusieurs types d'interdépendance entre les différents composants logiciels de calcul délivrés par les concepteurs. Afin de les aider dans cette phase, CoSTo possède un module de détection automatique des paramètres ayant le même nom.

Dans l'exemple de la figure 46, en prenant le contrôle, le client 2 prend le rôle d'animateur de la phase de modélisation collaborative. Il lance le module de détection des paramètres communs entre les différents modèles disponibles sur le serveur (flèche 1) sous forme de cob. Le module vérifie toutes les listes des paramètres d'entrée et des paramètres de sortie disponibles dans l'espace de stockage des modèles du serveur (flèche 2). Une liste des paramètres ayant le même nom et utilisés au moins dans deux modèles est donc générée.

Elle est ensuite envoyée via le serveur à tous les clients connectés sous forme de tableau (flèche3) qui contient :

- le nom du paramètre,
- le type de ce paramètre (entrée ou sortie),
- le modèle dans lequel il a été utilisé,
- le ou les autres modèles où il est utilisé,
- le type de la connexion (entrée/ entrée ou sortie/ entrée).

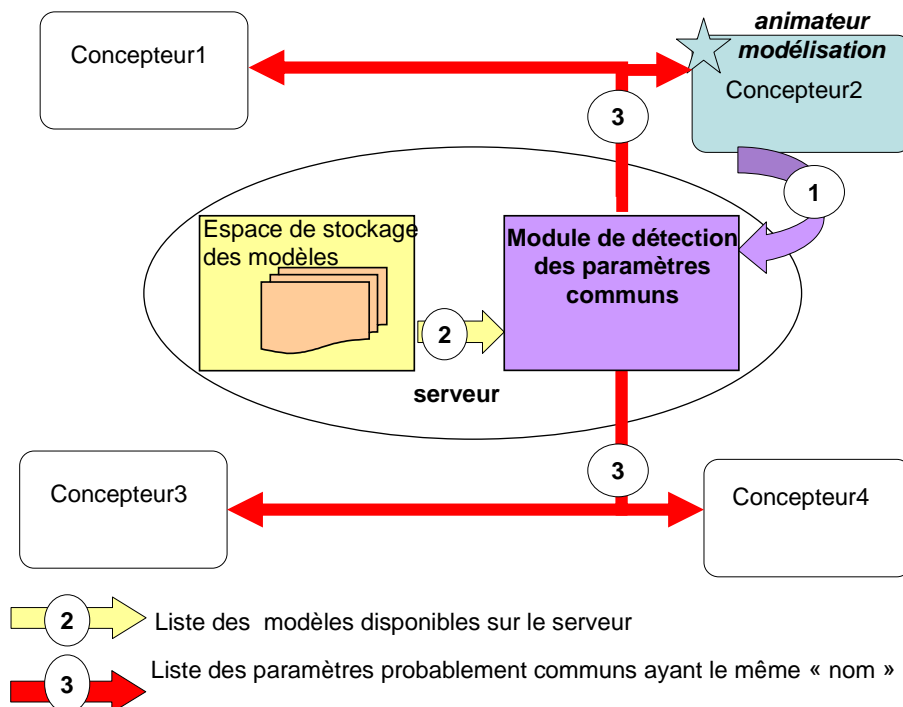


Figure 46 : phase de détection des paramètres communs

Pour construire de manière collaborative le modèle global de leur structure, les concepteurs doivent dans un premier temps gérer les paramètres qui ont le même nom. Dans

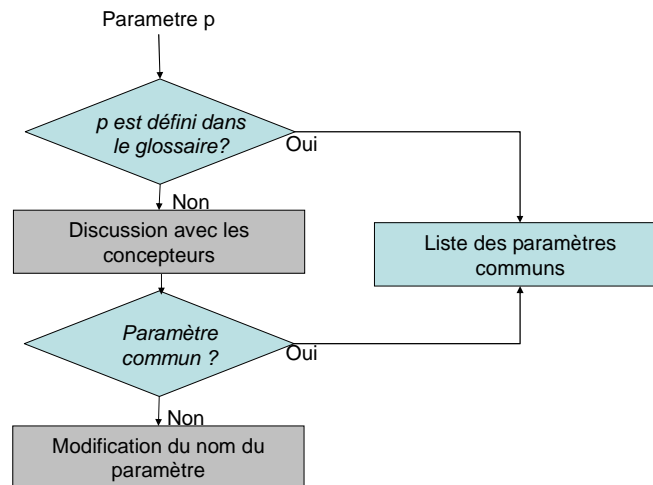
un deuxième temps, ils doivent vérifier s'ils n'ont pas d'autres paramètres communs qui sont utilisés dans les modèles sous des noms différents.

#### **IV.4. Phase 4: Gestion des paramètres ayant le même nom**

La gestion des paramètres ayant le même nom se fait durant une phase de discussion synchrone gérée par l'animateur de la phase modélisation (concepteur 2 dans la figure 46) et assurée par les outils de communication tels que NetMeeting, TeamSpeack, Sametime... Durant cette phase, CoSTo récupère la liste des paramètres communs "ayant le même nom" créée dans la phase 3. Il traite, analyse cette liste et affiche le résultat sous formes de deux tableaux :

- un tableau contenant les paramètres communs qui ne nécessitent pas d'être validés. Il sont automatiquement sauvegardés dans le fichier des paramètres communs.'
- un tableau de paramètres à valider par les différents concepteurs avant d'être considérés comme étant des paramètres communs.

L'organigramme de la figure 47 illustre la procédure suivie par CoSTo pour la gestion de ces paramètres.



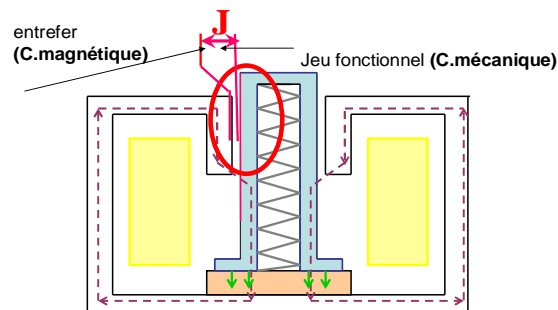
**Figure 47 : Gestion des paramètres ayant le même nom**

En effet, paramètre par paramètre, les concepteurs doivent valider ou non la connexion détectée. Dans ce cas, le paramètre en question va être ajouté automatiquement à la liste des paramètres communs. Dans le cas où le même nom a été utilisé pour deux variables distinctes, en refusant de valider la connexion, les deux paramètres en question vont être considérés comme deux paramètres différents ; après accord entre eux, les concepteurs peuvent changer le nom d'un des deux paramètres dans un des modèles.

A chaque nouvelle validation d'un nouveau paramètre commun, CoSTo met à jour automatiquement la liste des paramètres communs affichés en permanence dans chaque interface client.

#### ***IV.5. Phase 5 : Connexion des paramètres ayant des noms différents avec une signification commune***

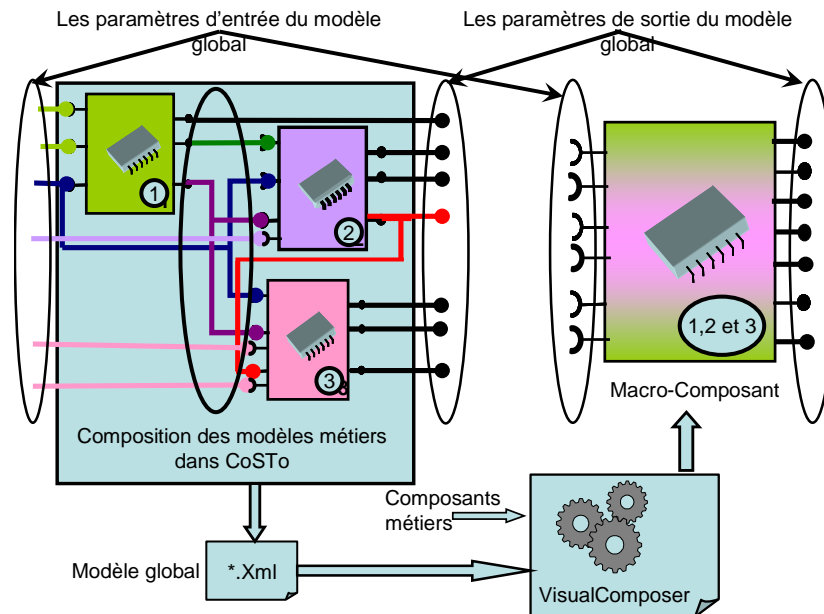
La détection des paramètres communs et leur définition dans le glossaire des paramètres communs sont loin d'être évidentes. Les interdépendances peuvent être détectées de manière tardive au fur et à mesure que les concepteurs approfondissent leur travail et échangent plus d'informations avec les autres partenaires. Pour répondre à ce besoin, CoSTo permet aux concepteurs de connecter deux paramètres définis dans deux modèles différents sous des noms différents mais qui ont la même signification. C'est le cas par exemple du paramètre « e : entrefer » défini dans le modèle électrique et le paramètre « j : jeu fonctionnel » défini dans le modèle mécanique du disjoncteur de la figure 48) . Cette fonctionnalité permet de prendre en compte les interdépendances définies en cours de conception sans obliger les concepteurs à retourner en phase de modélisation asynchrone et à perdre ainsi du temps pour la nomenclature. Cependant, les concepteurs doivent se mettre d'accord sur le nom à utiliser dans le modèle global.



**Figure 48 : Exemple de paramètres communs ayant des noms différents**

#### ***IV.6. Composition du modèle global***

Une fois toutes les connexions effectuées, la liste des paramètres communs entre les deux modèles peut être enregistrée dans un fichier au format xml. Il va être utilisé pour obtenir par composition le modèle global en s'appuyant sur un outil de composition de composants logiciels développé à cet effet : le VisualComposer [Del03] (voir figure 49).



**Figure 49 : Génération du composant logiciel de calcul du modèle global avec Visual Composer [Del03]**

## V. Les fonctionnalités liées à la phase d'optimisation collaborative

Une fois que le modèle global composé a été généré, les concepteurs récupèrent la version du cahier des charges de départ mis sur le serveur par l'animateur de la phase d'optimisation collaborative (phase 1 de la figure 50).

Les différents concepteurs doivent par la suite fournir chacun de leur côté une liste des contraintes définies sur les paramètres d'entrée ou de sortie relatives à leur modèle. L'ensemble des spécifications métiers doit être vérifié et validé durant une phase de travail collaborative animée par un architecte d'optimisation. Durant cette phase, les concepteurs ont à gérer plusieurs contraintes contradictoires, et doivent donc trouver des compromis qui satisfassent tous les participants (phase 3).

A la fin de cette phase, un cahier des charges cohérent est obtenu, il sera utilisé par le logiciel CdiOptimizer [Mag04] pour l'optimisation globale de la structure (phase 4).

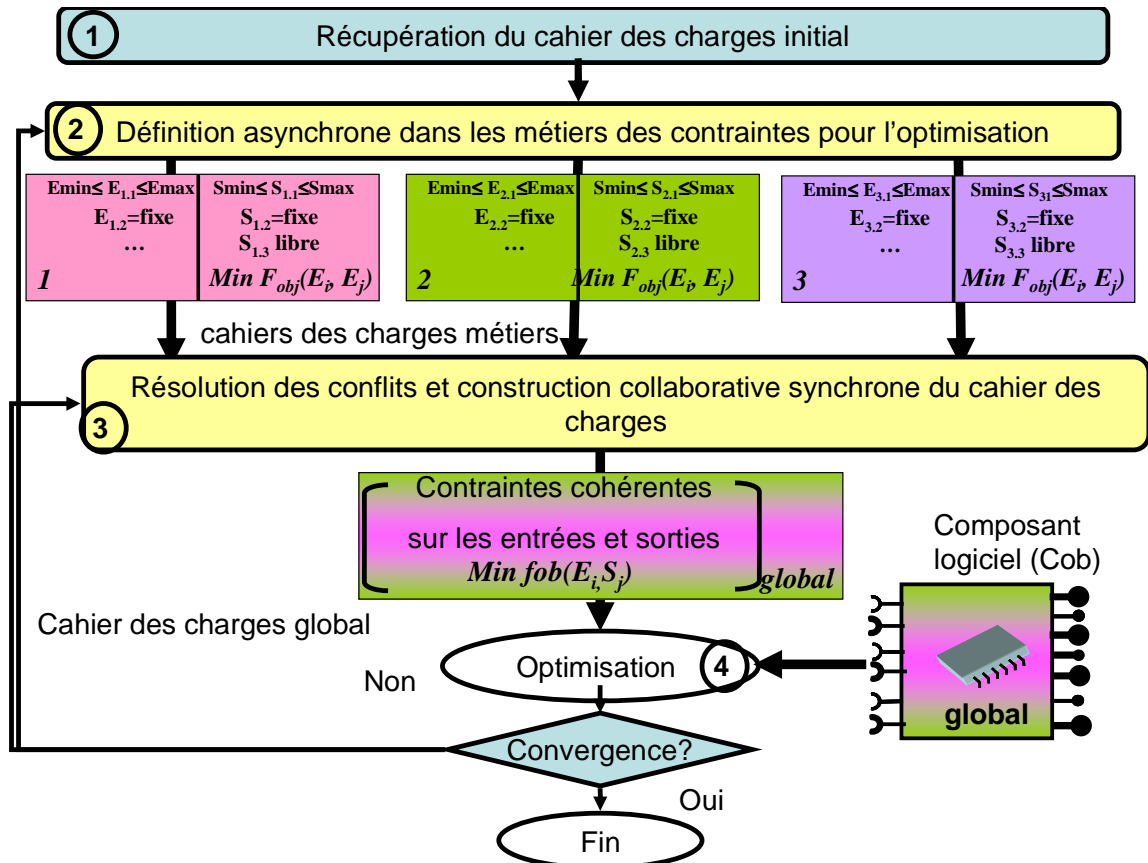


Figure 50 : La phase d'optimisation collaborative

Nous allons maintenant développer les fonctionnalités prévues dans notre environnement pour accompagner les concepteurs pendant chacune des phases illustrés dans la figure 50.

### V.1. Phase 1: récupération du cahier des charges

L'animateur de la phase d'optimisation prend la main, et se charge de la mise sur le serveur du cahier de charges initial. En effet, CoSTo analyse le fichier envoyé, récupère les informations qu'il contient et crée en conséquence deux listes:

- une liste pour les paramètres d'entrée,
- une liste pour les paramètres de sorties.

Le serveur envoie par la suite une notification à tous les clients les informant que le cahier des charges est disponible. Chaque client peut désormais le récupérer pour l'utiliser durant la phase de développement asynchrone des contraintes métiers (voir figure 51).

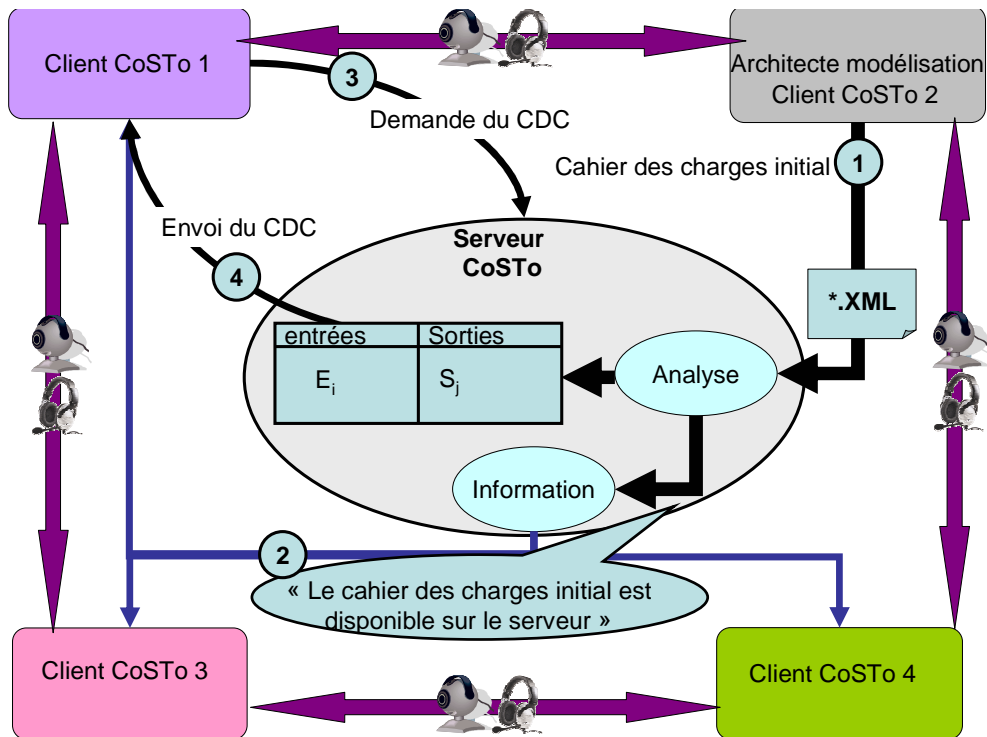


Figure 51: Mise en ligne et récupération du cahier des charges initial

## V.2. Phase 2: développement des contraintes pour l'optimisation

Une fois que le cahier de charges initial est récupéré depuis le serveur, chaque concepteur passe désormais à une phase de définition des contraintes d'optimisation pour chacun des paramètres d'entrée et de sortie.

Pour chaque paramètre d'entrée, le concepteur commence par choisir le type de la contrainte à appliquer (une contrainte d'égalité ou d'inégalité). Il doit par la suite définir les détails relatifs au type de contrainte choisie (voir figure52).

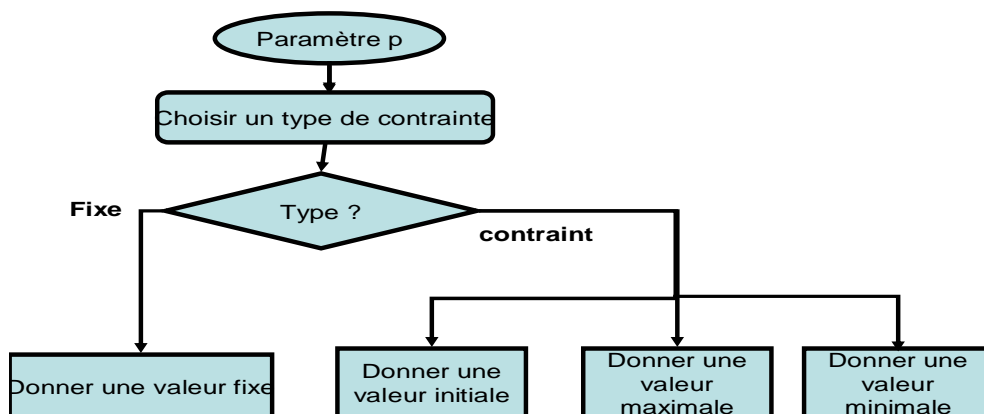


Figure 52 : définition des contraintes d'optimisation pour les paramètres d'entrée

Pour chaque paramètre de sortie, le concepteur peut choisir entre:

- ne pas définir de contrainte,
- définir une valeur fixe,

- le contraindre à un intervalle de valeurs acceptables,

Parmi la liste des paramètres de sortie, le concepteur est aussi amené à définir une fonction objectif qui doit être minimisée ou à maximisée par l'algorithme d'optimisation utilisé.

La définition des ces types de contraintes est réalisée dans l'IHM de CoSTo, sous forme de deux tableaux contenant chacun les contraintes des paramètres d'entrée et des paramètres de sortie.

### ***V.3. Phase 3 : construction collaborative du cahier des charges global***

Notre environnement d'aide propose deux stratégies différentes pour aider les concepteurs à construire de manière collaborative un cahier des charges cohérent :

- la stratégie de prise de main successive,
- la stratégie de modification parallèle.

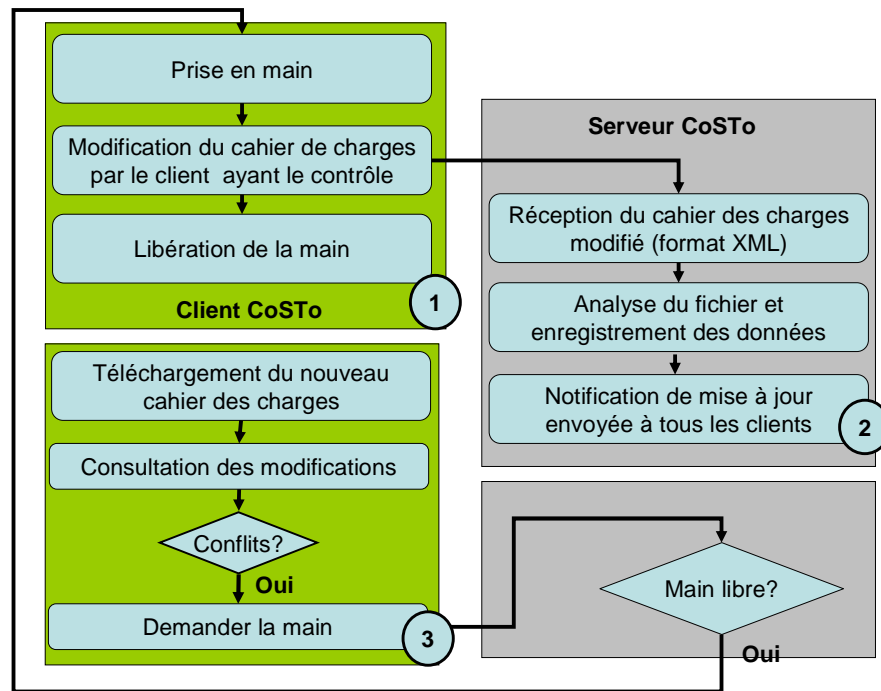
#### *V.3.1. La stratégie de prise de main successive*

La stratégie de prise de main permet aux différents concepteurs d'avoir successivement le contrôle du cahier des charges. En effet, en prenant la main le concepteur dispose des droits de modification du cahier des charges collaboratif. Relativement aux exigences métiers du concepteur, celui-ci développe durant une phase de travail asynchrone les contraintes d'optimisation sur les paramètres d'entrée et de sortie (phase 1 de la figure 53).

Il l'envoie ensuite au serveur qui informe les différents concepteurs que la nouvelle version de cahier des charges est disponible et les invite à la consulter (phase 2 de la figure 53).

Après une phase de consultation et d'analyse de la dernière version du cahier des charges, et une fois que la main sur celui-ci est libre, un autre concepteur peut reprendre le contrôle pour ajouter de nouvelles spécifications, modifier celles qui ne lui conviennent pas et qui ont été formulées par d'autres concepteurs.





**Figure 53: Stratégie de prise de main successive**

Selon cette stratégie, les concepteurs gèrent les conflits qu'ils vont rencontrer en discutant de manière informelle entre eux. Chaque fois qu'un concepteur constate une incohérence, il discute avec les concepteurs concernés, demande la main pour pouvoir y ajouter le compromis trouvé. Ainsi, en faisant le tour de tous les clients connectés, le cahier des charges va être construit de manière collaborative.

### *V.3.2. La stratégie de modification parallèle*

Cette stratégie consiste à synchroniser durant une phase collaborative animé par un architecte d'optimisation les différentes contraintes métiers pour obtenir un cahier de charges global et cohérent. Elle se compose de trois phases (voir figure 54) :

- récupération des différents cahiers des charges métiers (phase 1),
- vérification de la cohérence des contraintes des paramètres communs (phase 2),
- résolution des conflits (phase 3).

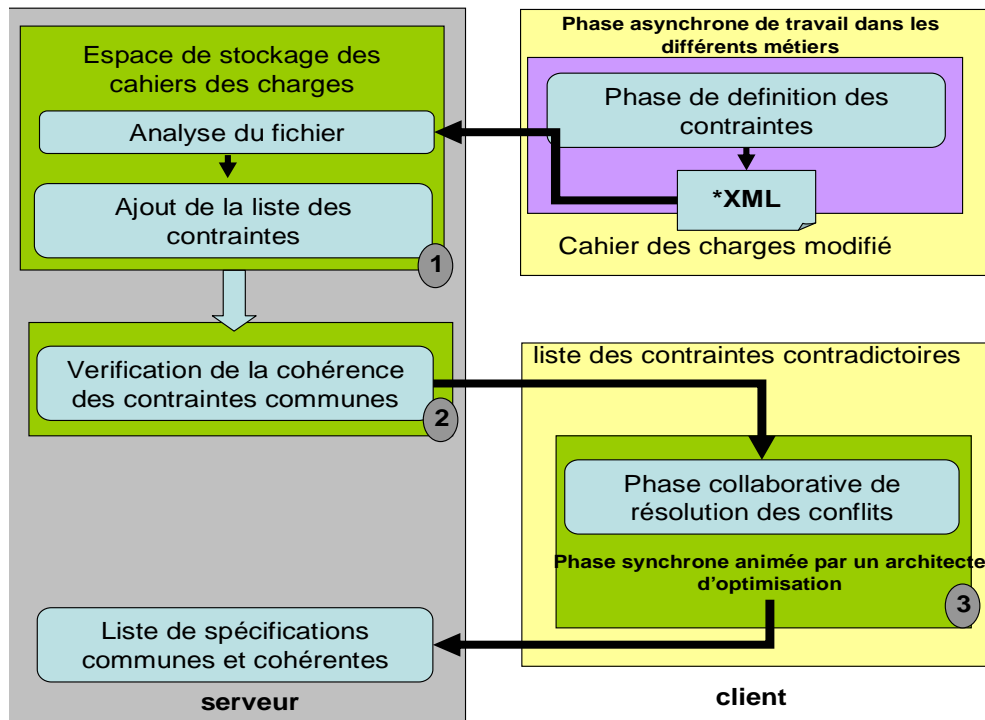


Figure 54 : stratégie de vérification automatique de la cohérence des contraintes

#### V.3.2.1. Phase 1: Récupération des différents cahiers des charges métiers

A la fin de la phase de travail asynchrone de développement des contraintes d'optimisation, chaque concepteur envoie son cahier des charges dans un fichier au format XML au serveur. CoSTo analyse le fichier reçu et récupère toutes les contraintes définies sur les paramètres d'entrée et de sortie. Celui-ci est répertorié selon le nom du concepteur, dans l'espace de stockage prévu au serveur pour répertorier les cahiers des charges. A chaque nouvelle réception, le serveur envoie une notification à tous les concepteurs et met à jour la liste des cahiers des charges au niveau de chacune des interfaces clients (voir figure 55).

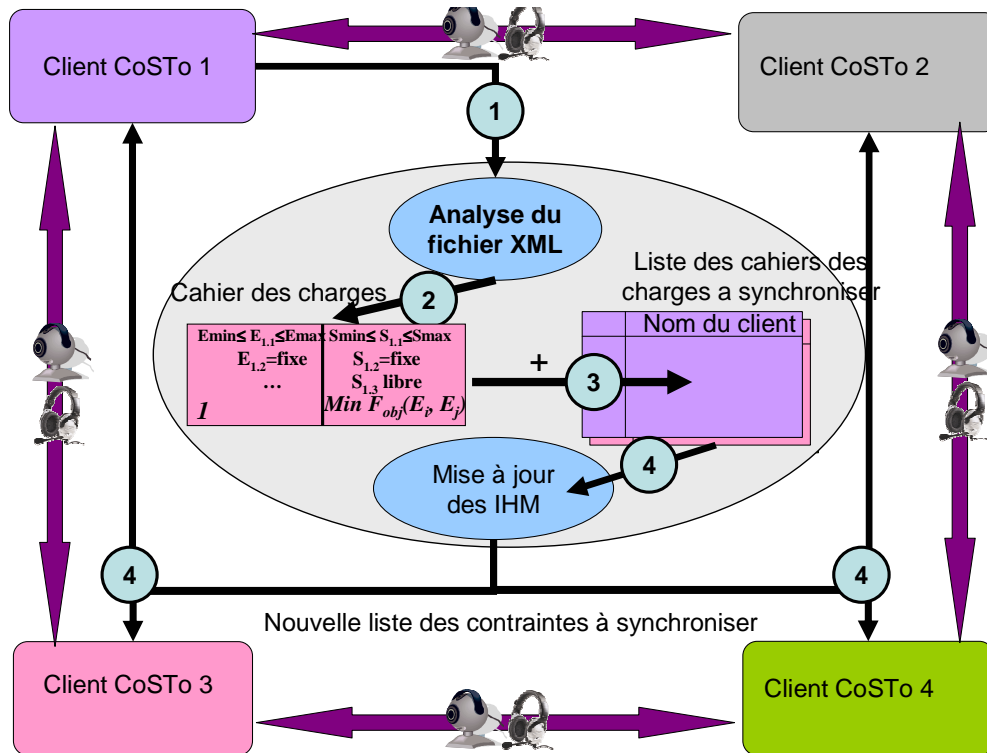


Figure 55: Récupération de la liste des cahier des charges à synchroniser

#### V.3.2.2. Phase de vérification de la cohérence des contraintes communes

Une fois, toutes les versions des contraintes obtenues, un des intervenants prend la main pour jouer le rôle d'architecte optimisation (phase 1 de la figure 56). Il met en marche le module de gestion de cohérence de CoSTo destiné à aider les concepteurs à détecter et à gérer les conflits d'intérêts entre leurs différents cahiers des charges. Deux listes de paramètres conflictuelles seront créés:

- une pour les paramètres d'entrée
- une pour les paramètres de sortie.

Le serveur envoie une notification à chacun des concepteurs et met à jour leur IHM pour y rajouter la liste des paramètres contradictoires (phase 4 de la figure 56).

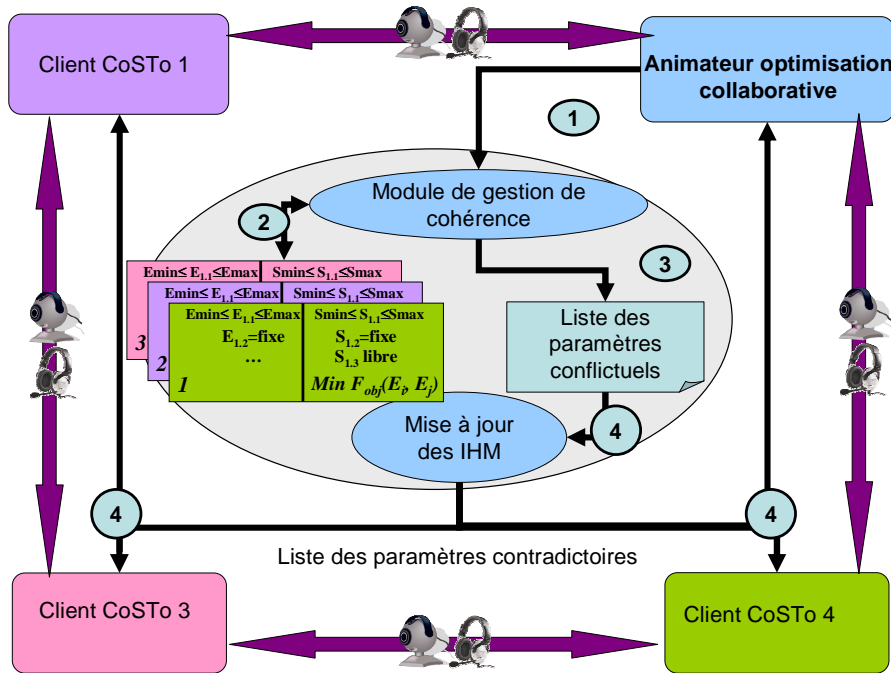


Figure 56 : Phase de détection des conflits entre les contraintes multimétriers

En mettant en route le module de gestion de cohérence, CoSTo doit vérifier la cohérence des contraintes formulées sur les paramètres communs. En effet, pour chacun de ces paramètres, le module interroge tous les cahiers des charges concernés et récupère les contraintes définies sur ce paramètre (phase 2 de la figure 57). Par la suite, CoSTo vérifie si les contraintes définies sont identiques. Dans le cas contraire, le paramètre en question est automatiquement ajouté à la liste des paramètres conflictuels.

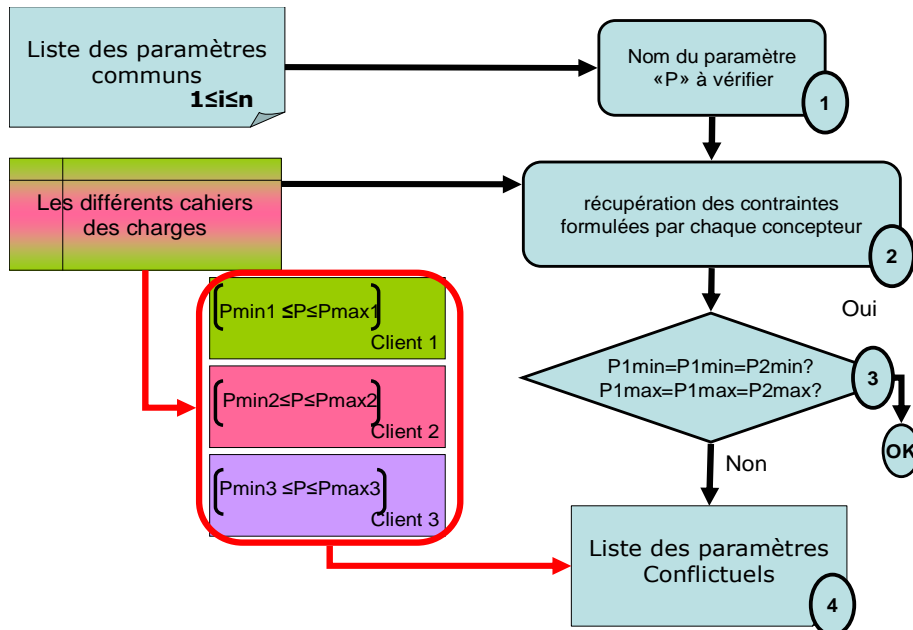


Figure 57 : Module de vérification de cohérence

### V.3.2.3. Résolution de conflits

En choisissant un paramètre à résoudre dans la liste des paramètres conflictuels, CoSTo interroge les cahiers des charges pour récupérer les différentes contraintes exprimées sur ce paramètre et les envoie sous forme d'un tableau dans l'IHM de chaque client. Une phase de discussion synchrone animée par l'architecte d'optimisation permet aux différents concepteurs de confronter leurs points de vues, d'argumenter leurs choix et d'essayer de trouver un compromis acceptable par tous (phase 6 de la figure 58).

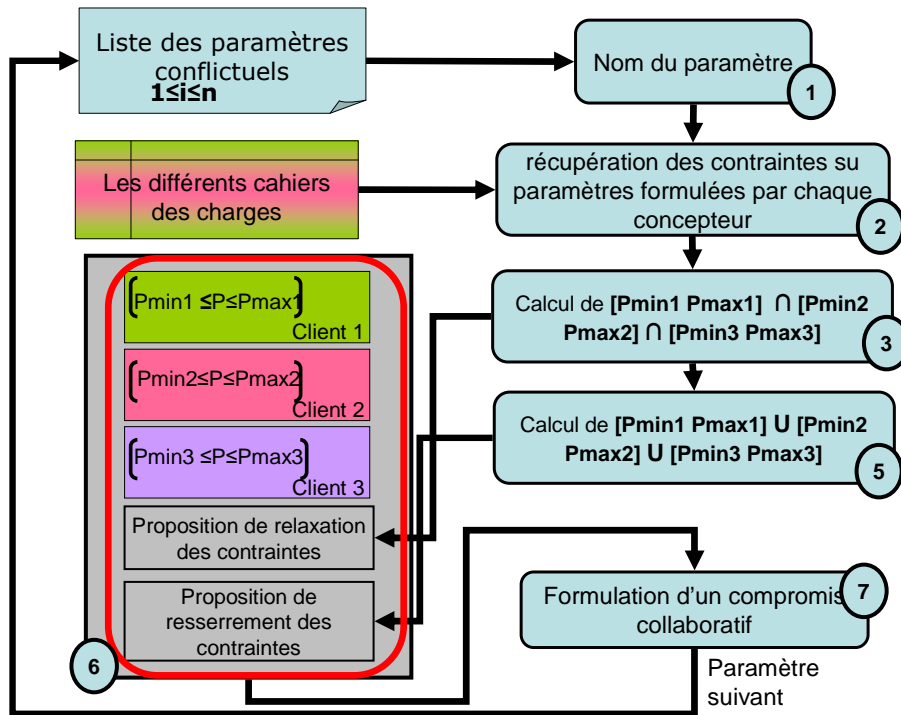


Figure 58 : Résolution des conflits des contraintes communes

Pour aider les concepteurs à trouver une solution, CoSTo leur propose en plus de choisir entre les différentes propositions formulées par les différents clients:

- un relâchement des contraintes, obtenu par l'union de toutes les propositions (voir figure 59)

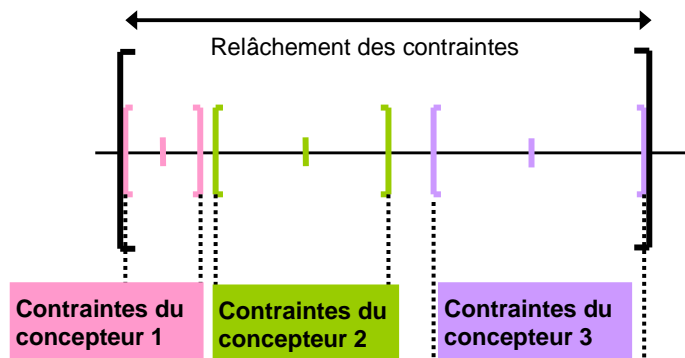
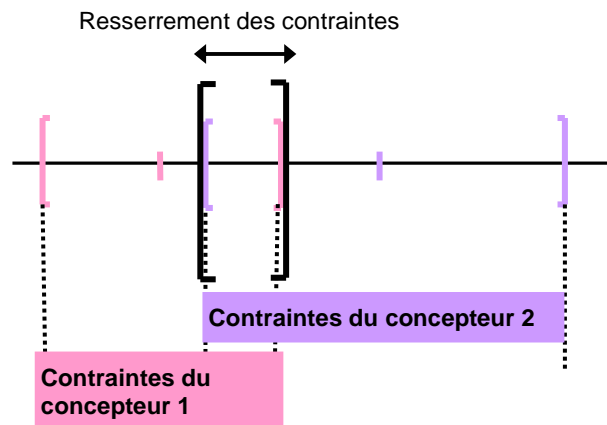


Figure 59 : Exemple de relâchement des contraintes

- un resserrement des contraintes obtenu par l'intersection entre toutes les propositions si c'est possible (voir figure 60).



**Figure 60 : Exemple de resserrement de contraintes**

Ils peuvent aussi, si besoin formuler de nouvelles contraintes de manière collaborative synchrone.

Une fois qu'un compromis est trouvé, l'architecte d'optimisation valide la proposition retenue. La liste des paramètres à valider est par la suite mise à jour, une notification informe tous les clients de l'accord conclu et du changement de l'état du cahier des charges global. Les concepteurs peuvent ainsi passer à l'étude du paramètre conflictuel suivant.

Les concepteurs suivent en temps réel les différentes actions effectuées par l'architecte d'optimisation. En effet, à chaque modification de l'IHM de l'architecte, le serveur met à jour les IHM de tous les clients.

Un concepteur peut aussi consulter à tout moment l'état d'avancement du cahier des charges global. Chaque fois qu'il en fait la demande, le serveur récupère la dernière version du cahier de charge et l'envoie sous forme d'un fichier au format XML au client concerné. Il sera affiché au niveau de l'interface sous la forme d'un tableau.

Le cahier des charges global est obtenu une fois que tous les conflits dans les contraintes communes sont résolus. CoSTo permet de l'enregistrer en local. Il va être utilisé comme cahier des charges de départ durant la phase d'optimisation qui suivra.

Au fur et à mesure des itérations les concepteurs peuvent continuer à s'appuyer sur notre environnement pour modifier les contraintes du cahier des charges et affiner la solution.

## ***Conclusion***

CoSTo s'appuie sur les spécifications développées à partir de l'analyse d'expériences réelles pour la conception d'un déclencheur électromécanique. Ces spécifications sont le

résultat d'une coopération entre chercheurs pluridisciplinaires et ayant des regards complémentaires sur cette activité.

Nous avons proposé à l'issue de ce travail, une démarche intégrée pour le dimensionnement collaboratif des structures multi-physiques à distance "via Internet". Un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif a été conçu pour faire face au besoin des concepteurs dans cette activité.

Il repose sur une architecture client serveur permettant aux différents concepteurs du projet de participer à des réunions virtuelles. Il fonctionne en parallèle avec des outils de travail collaboratifs à distance qui assurent la transmission audio-visuelle de la réunion et l'échange des diverses données de conception.

Cette démarche s'appuie sur les différents outils logiciels métiers d'aide au dimensionnement utilisés au sein de notre laboratoire (voir figure 61). Notre environnement permet donc l'utilisation de l'ensemble de ces outils dans un cadre collaboratif en instaurant des phases de travail collaboratif en synchrone pour la composition d'un modèle global et d'un cahier des charges cohérent qui respecte les contraintes de tous les intervenants.

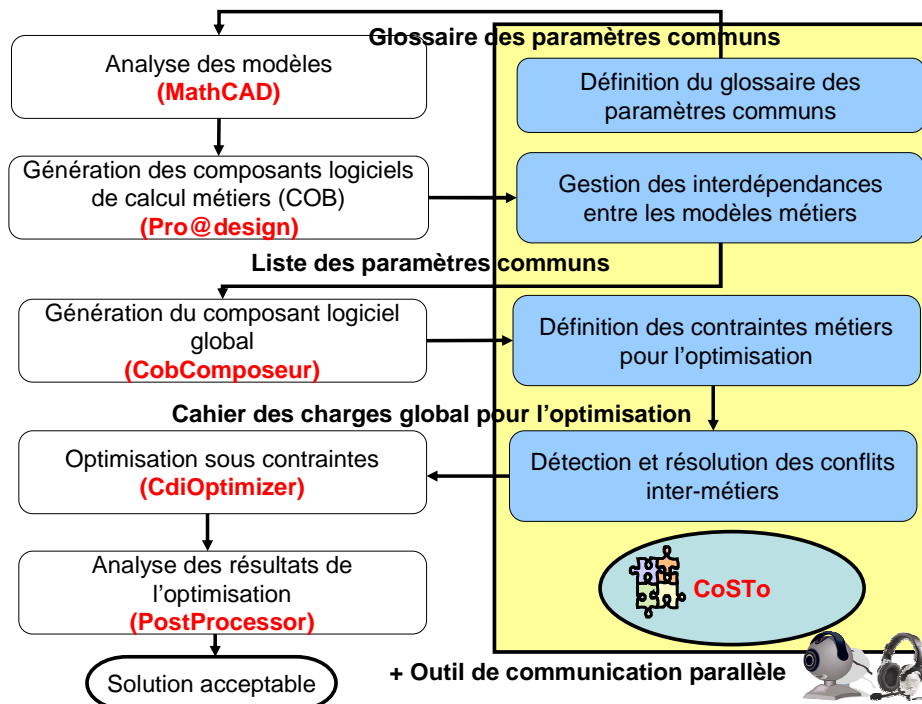


Figure 61: Démarche de dimensionnement collaboratif développée

## ***CHAPITRE IV***

---

***APPLICATION DE DIMENSIONNEMENT***

***COLLABORATIF A DISTANCE***

---



## ***CHAPITRE IV***

### ***APPLICATION DE DIMENSIONNEMENT COLLABORATIF A***

#### ***DISTANCE***

##### ***Introduction***

Durant ce chapitre, nous présentons une application d'utilisation de l'outil d'aide au dimensionnement collaboratif via internet CoSTo. Pour plus de cohérence, nous allons nous appuyer sur la même application présentée dans le deuxième chapitre.

Nous allons donc présenter dans la première partie un scénario de dimensionnement intégré se basant sur cet outil. Cela permet de montrer ses atouts en terme d'intégration de contraintes pluridisciplinaires et de cohérence du modèle global et du cahier des charges définis de manière collaborative à distance.

Une version préliminaire de cet outil a pu être testée en enseignement durant le module de troisième année d'ingénierie collaborative effectuée par les élèves ingénieurs de l'ENSIEG et de l'ENSHMG. Une synthèse des apports et des limites de cet outil sera donc présentée dans la dernière partie de ce chapitre.

#### **I. Scénario de l'utilisation de CoSTo**

##### ***I.1. Présentation de l'expérience***

Il s'agit ici d'un plateau projet distribué pour le dimensionnement collaboratif distribué via internet du déclencheur électromécanique que nous avons présenté au deuxième chapitre. Notre objectif est de minimiser les dimensions et l'encombrement du produit tout en garantissant des caractéristiques physiques optimales définies par le client dans le cahier des charges (voir Annexe I). La minimisation des dimensions de cette structure permet entre autre de minimiser la quantité de matière première utilisée et donc de minimiser le coût de la fabrication du déclencheur.

Les communications informelles inter-métiers entre les concepteurs sont assurées d'une part par les outils adaptés de conférence virtuelle et d'échange d'informations tels que le tchat, le téléphone, la vidéo (flèche 2 de la figure 62). D'autre part, par l'utilisation de l'outil d'aide au dimensionnement collaboratif à distance CoSTo. Chaque concepteur va donc accéder au serveur par une IHM client de CoSTo (flèche 2 de la figure 62). Il pourra ainsi déposer et

consulter des données, ou participer à des phases de travail collaboratif synchrone pour construire un modèle global et un cahier des charges cohérent pour l'optimisation du produit.

Durant les phases de travail asynchrone dans les métiers, les concepteurs continuent d'utiliser les logiciels de travail spécifiques à leurs métiers (flèche 3 de la figure 62).

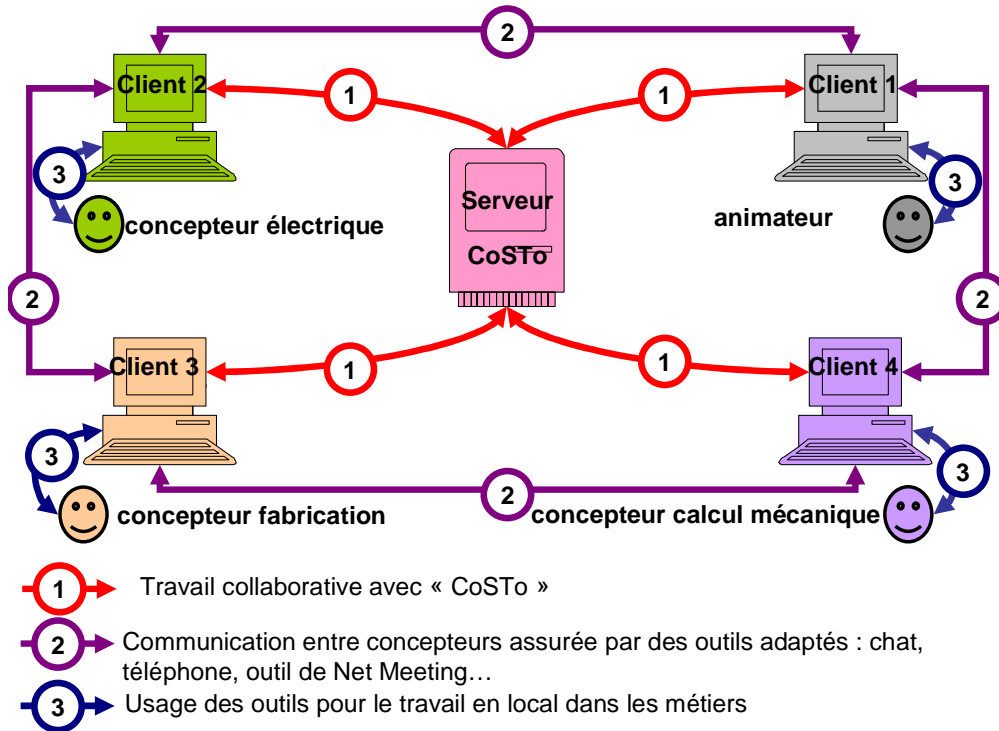


Figure 62 : Scénario de dimensionnement collaboratif

### 1.2. Les participants et leur rôle

En plus des trois groupes métiers "physiques" qui interviennent pour optimiser le déclencheur électromécanique, trois intervenants supplémentaires participent à la gestion de l'activité globale (chef de projet) et à l'animation des phases de travail collaboratives (deux animateurs). Le projet comporte donc :

- un groupe de conception électrique chargé du dimensionnement de la partie magnétique du déclencheur,
- un groupe de conception mécanique "calcul" chargé du dimensionnement du noyau formé par le clou et le ressort,
- un groupe de conception mécanique "fabrication" chargé de définir le mode de fabrication du produit,
- un chef de projet qui assure le lancement et la gestion du projet,

- un architecte modélisation qui anime la phase collaborative de composition du modèle global. Il prend aussi en charge la génération du macro-composant à partir des composants logiciels métiers,
- un architecte optimisation qui anime la phase de construction collaborative du cahier des charges et se charge aussi du processus de l'optimisation globale.

### 1.3. Le scénario

Le scénario de dimensionnement collaboratif que nous présentons se compose de sept phases différentes (voir figure 63) :

- le lancement du projet assuré par le chef de projet (phase 1),
- les phases des travail collaboratives gérées par les architectes (phases 2, 4 et 6),
- les phases de travail asynchrones dans les métiers gérées par les concepteurs (phases 3 et 5),
- une phase d'optimisation effectuée par l'architecte d'optimisation.

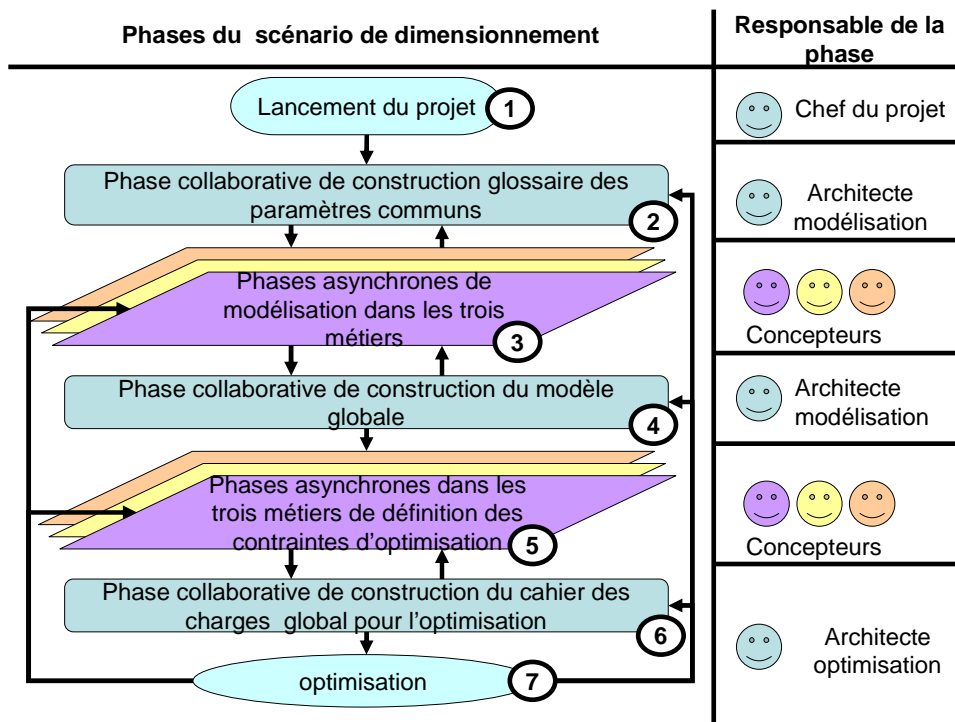


Figure 63 : Scénario de dimensionnement collaboratif du déclencheur électromécanique

### 1.4. Les ressources et les moyens mis à disposition

Les échanges informels entre concepteurs sont assurés par les outils de visioconférence et l'échange des données standard présentés précédemment.

Les phases collaboratives (phases 2, 4 et 6 de la figure 63) s'appuient sur notre environnement d'aide au dimensionnement collaboratif CoSTo et ses différentes fonctionnalités conçus spécifiquement à chacune de ses phases.

La génération des composants logiciels de calcul encapsulant les modèles analytiques de dimensionnement relatifs à chaque concepteur est assurée par le logiciel pro@design [Ati03].

La composition du modèle global à partir des modèles métiers et la génération du macro composant associé sont assurées par le logiciel VisualComposer [Del03].

L'optimisation sous contraintes est assurée par le logiciel CdiOptimizer [Mag04]. Ces outils d'aide au dimensionnement et leur fonctionnalités sont présentés par le tableau 7 ci-dessous:

**Tableau 7 : Les outils utilisés pour le dimensionnement collaboratif du déclencheur**

<b>Nom de l'outil</b>	<b>Fonctionnalité</b>	<b>Phase d'utilisation</b>
Outils de visioconférence types NetMeeting, chat	Echanges informels entre les concepteurs	Constamment, tout au long du processus
CoSTo	Définition du glossaire des paramètres communs	Phase 2 du scénario présenté par la figure 63
Outils métiers de simulation et de modélisation (exemple : MathCad)	Développement du modèle analytique pour le dimensionnement	Phase 3 du scénario présenté par la figure 63
Pro@design	Génération du composant logiciel de calcul	La fin de la phase 3 du scénario présenté par la figure 63
CoSTo	Composition des modèles	Phase 4 du scénario présenté par la figure 63
VisualComposer	Génération du modèle global	Fin de la phase 4
CoSTo	Définition asynchrone des contraintes d'optimisation	Phase 5
CoSTo	Construction collaborative du cahier des charges pour l'optimisation	Phase 6
CdiOptimizer	Optimisation sous contraintes	Phase 7

## II. Les phases du scénario de dimensionnement

Nous allons maintenant présenter une à une les phases du scénario décrit dans la figure 63.

### II.1.Phase1: lancement du projet

Le chef de projet commence par lancer le serveur de CoSTo, une référence qui permet la localisation de celui-ci sur le réseau est automatiquement créée par le bus CORBA. Le chef de projet récupère cette référence IOR " Interoperable Object Reference" en la copiant à partir du serveur, il l'envoie par la suite selon le moyen qui lui convient (Chat, Tableau blanc, mail...) à tous les intervenants dans le projet.

Chaque concepteur lance une application de CoSTo, copie la référence IOR du serveur, s'identifie et rejoint les autres intervenants. Une notification d'information est envoyée par le serveur à tous les clients connectés pour les informer et mettre à jour la liste des participants (voir figure 64).

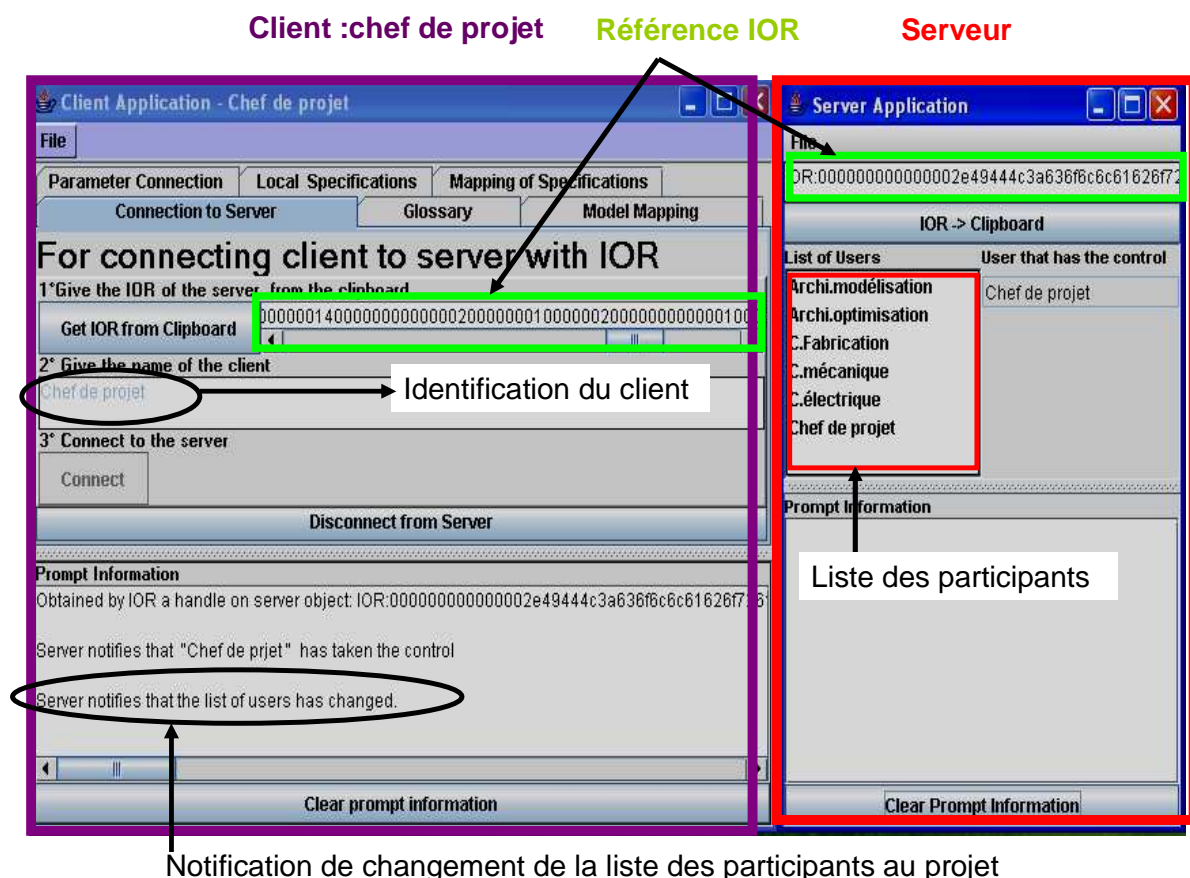


Figure 64: phase de lancement du projet de dimensionnement à distance

## II.2.Phase 2 : construction collaborative du glossaire des paramètres communs

A partir de la structure initiale de base et des contraintes techniques et fonctionnelles exigées par le client, les concepteurs vont définir chacun de leur côté, un ensemble de contraintes géométriques (voir figure 65) et techniques à optimiser.

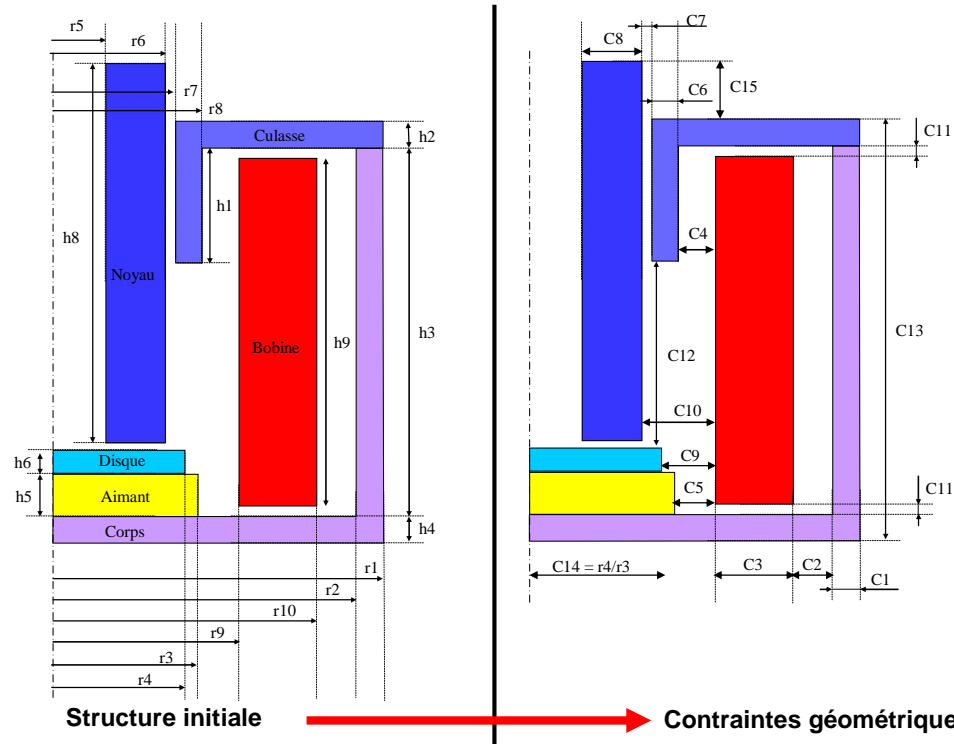


Figure 65 : exemple de contraintes géométriques définies à partir de la structure initiale

Plusieurs de ces contraintes vont être utilisées dans plusieurs modèles sous des "syntaxes" différentes. Les concepteurs ont commencé par une première phase de définition des paramètres communs dans le glossaire prévu pour les aider à comprendre mutuellement le vocabulaire utilisé par chaque groupe métier. Cet espace de connaissance partagé a été construit d'une manière dynamique et évolutive tout au long la phase de modélisation. Lors des discussions informelles avec les différents intervenants, chaque fois qu'une interdépendance entre les modèles est détectée, les concepteurs se retrouvent dans une phase de travail collaborative synchrone pour l'explicitier et la définir une fois pour toute (voir figure 66).

Le glossaire est enrichie au fur et à mesure que les concepteurs affinent leurs modèles et avancent dans le processus. Les interdépendances peuvent être prises en charge à tous les niveaux du processus grâce à la possibilité d'enregistrement et de mise à jour.

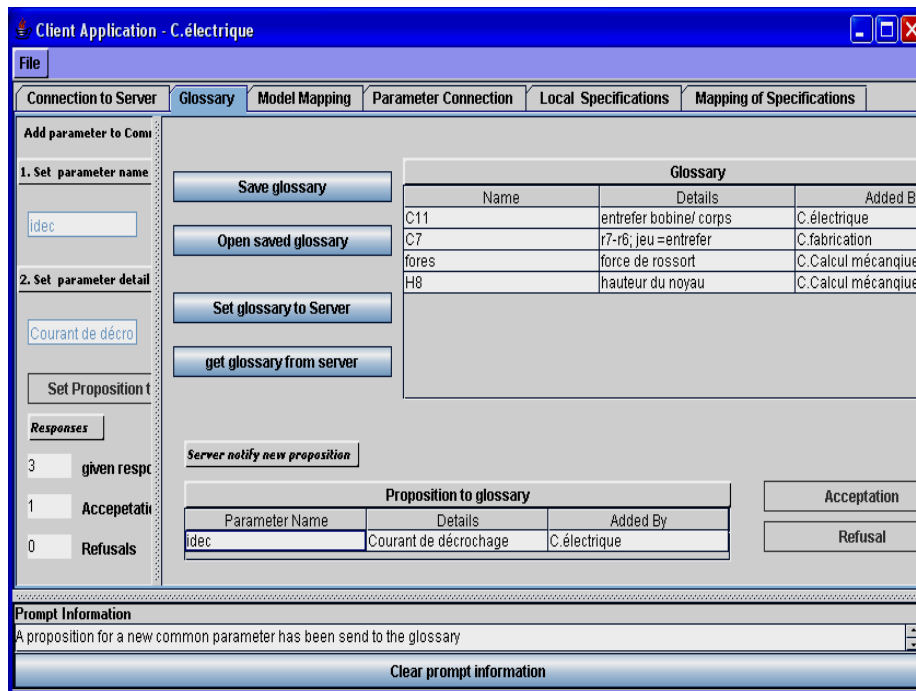


Figure 66: Glossaire des paramètres communs

### II.3.Phase 3 : Modélisation asynchrone dans les métiers

En s'appuyant sur les différents outils d'analyse et de modélisation spécifiques, les concepteurs doivent fournir des modèles analytiques du déclencheur. Chaque modèle contient des équations physiques, des caractéristiques techniques et des contraintes métiers qui permettent le dimensionnement du déclencheur selon le point de vue du concepteur qui l'a développé. Le concepteur génère le composant logiciel de calcul qui encapsule le modèle développé et permet de calculer ses paramètres de sortie en fonction de ses paramètres d'entrée.

Par la suite, chaque concepteur envoie son composant logiciel au serveur qui l'ajoute à l'espace de stockage prévu à cet effet. L'information est automatiquement mise à jour sur chaque interface client connectée.

### II.4.Phase 4 : composition collaborative du modèle global

Une fois que les trois composants logiciels relatifs aux trois métiers sont disponibles sur le serveur, l'architecte de la phase de modélisation prend la main pour pouvoir lancer le module de composition de CoSTo. En effet, à partir de l'ensemble des paramètres d'entrée et de sortie des composants, ce module génère (voir figure 67):

- une liste des paramètres communs qui ont été préalablement définies dans le glossaire,
- une liste des paramètres ayant la même syntaxe et utilisés dans des modèles différents.

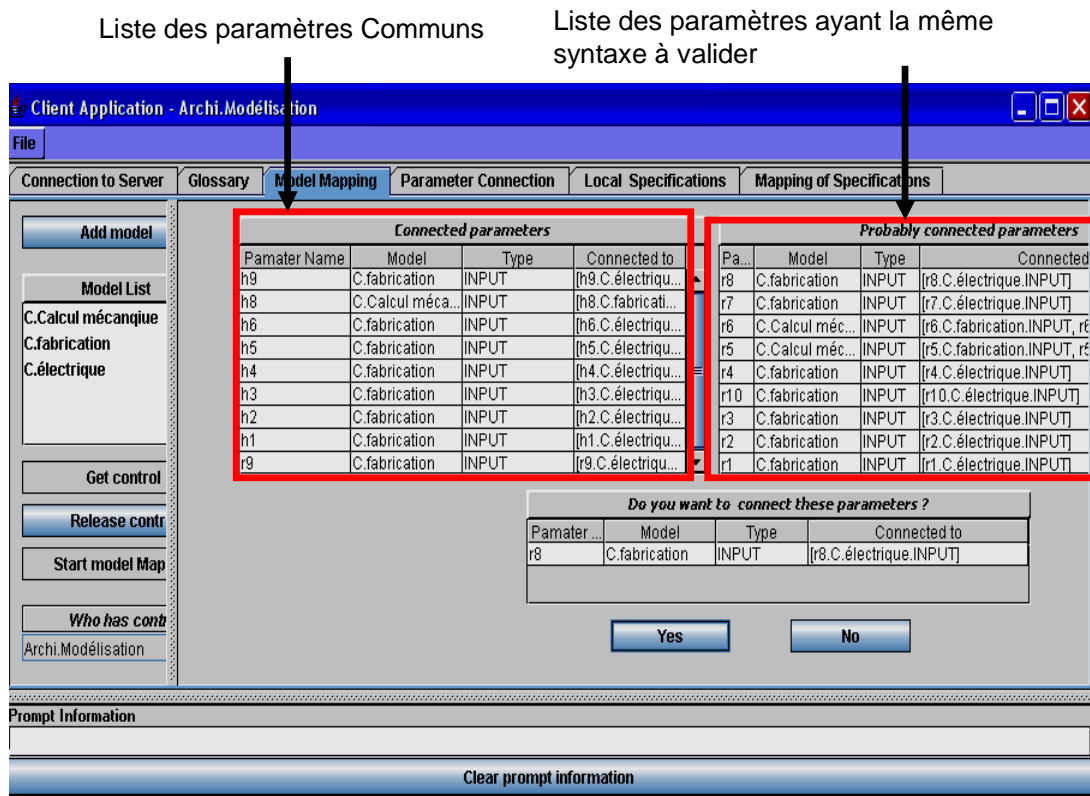


Figure 67 : Gestion des paramètres communs ayant la même syntaxe

Durant cette phase animée par l'architecte de modélisation, les concepteurs vérifient l'ensemble des paramètres ayant la même syntaxe et décident si il s'agit de paramètres communs ou non. C'est l'architecte de modélisation uniquement, qui dispose des droits de validation, cependant, la décision est bien sûr prise après l'accord des concepteurs concernés. Au cours des discussions, d'autres paramètres, ayant des syntaxes différentes mais la même signification, apparaissent. Les concepteurs poursuivent ainsi la composition du modèle global en connectant ces paramètres grâce à la fonctionnalité de CoSTo prévue à cet effet. Nous citons ici l'exemple des deux paramètres "course" du modèle calcul mécanique et "mm" du modèle électrique connectés ensemble dans la figure 68.



Connexion des paramètres communs ayant différentes syntaxes

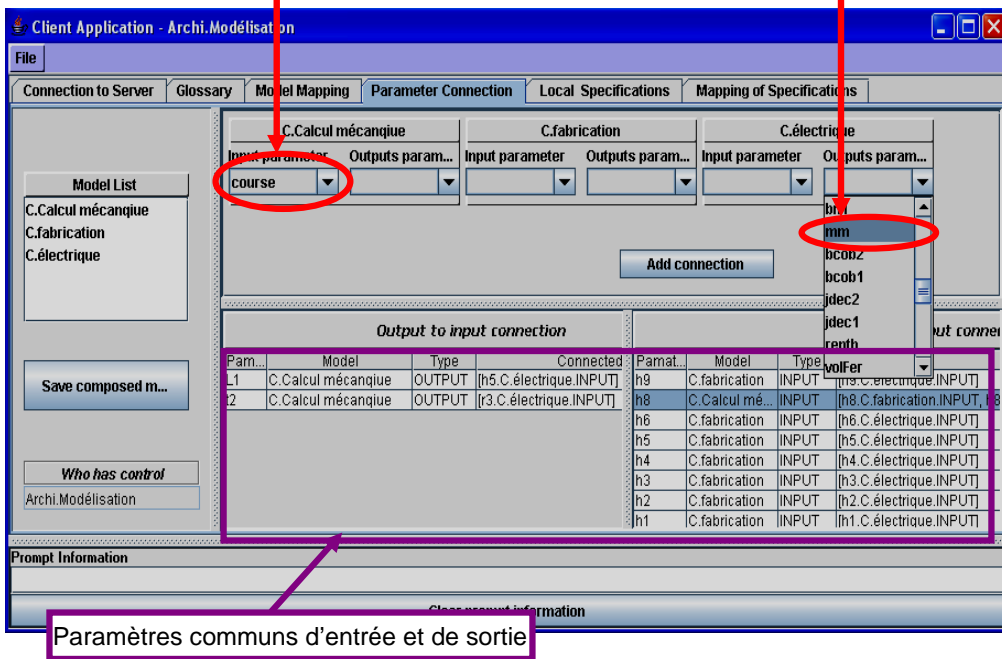


Figure 68 : Gestion des paramètres communs et de différentes syntaxes

A la fin de cette phase, une liste contenant les différents paramètres communs entre les modèles est générée. L'architecte modélisation l'utilise pour composer le macro-composant du modèle global à l'aide du logiciel VisualComposer (voir figure 69).

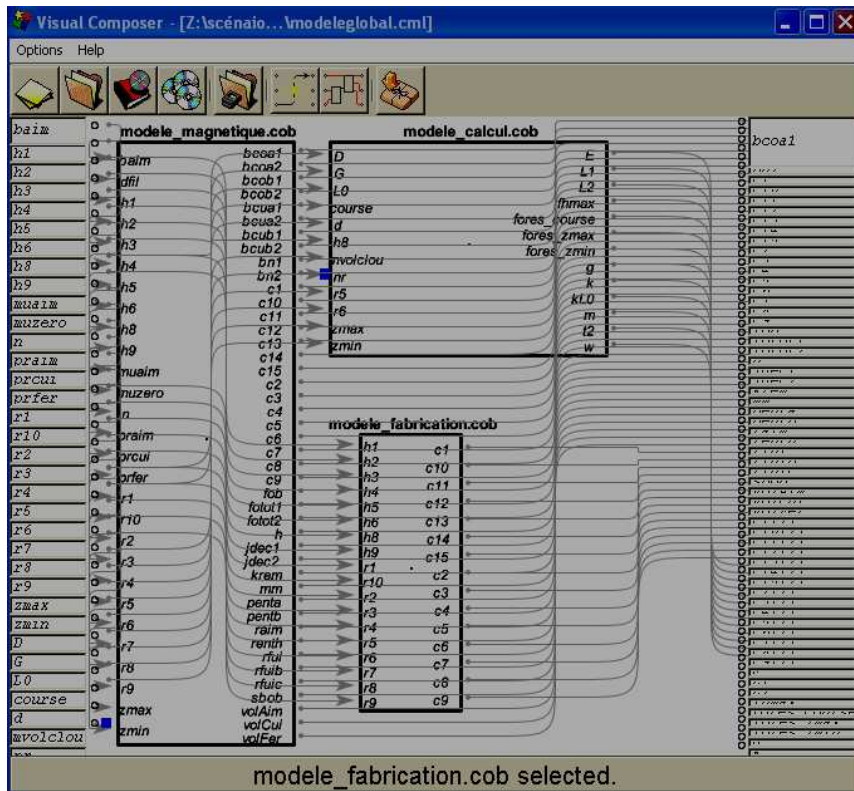


Figure 69 : Composition du modèle global

## II.5.Phase 5 : définition des contraintes de l'optimisation

Une fois le modèle global généré, l'architecte de l'optimisation prend la main pour mettre sur le serveur le cahier des charges initial. Une notification est envoyée par le serveur pour avertir chaque concepteur. Celui-ci le récupère sous forme de deux tableaux qu'il doit remplir durant une phase de travail asynchrone dans son métier, pour y définir les contraintes d'optimisation sur les paramètres d'entrée et de sortie. Une fois toutes les contraintes définies, chaque concepteur envoie son cahier des charges au serveur qui le stocke et en informe les autres intervenants (voir figure 70).

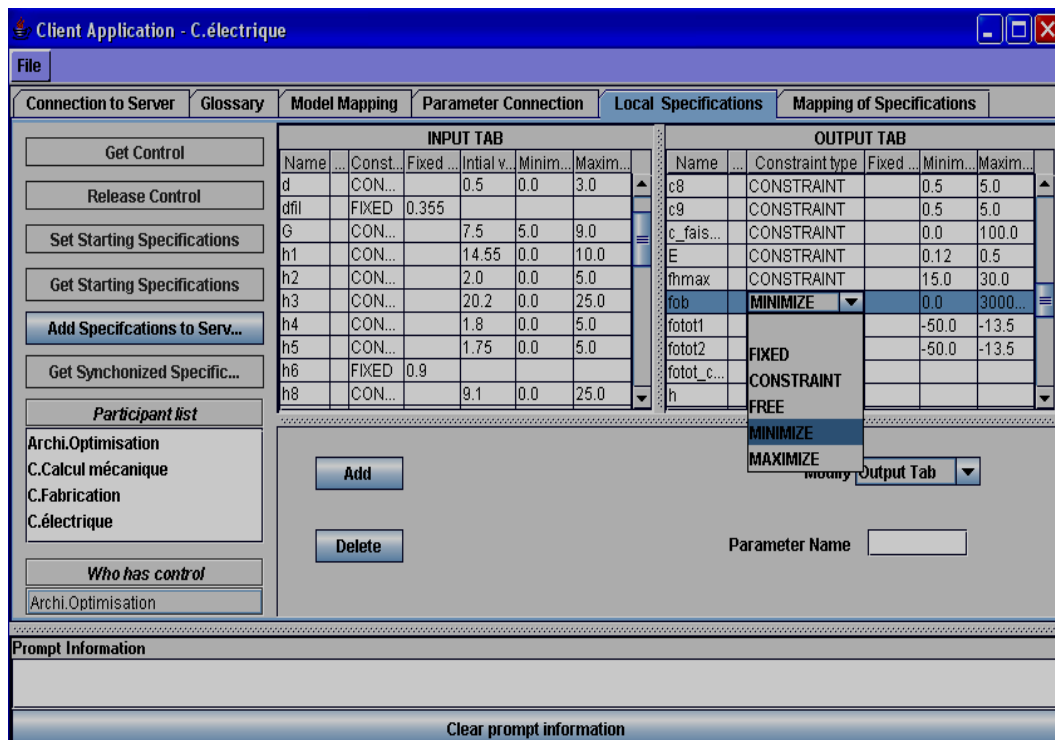


Figure 70 : Cahier des charges du concepteur électrique

## II.6.Phase 6 : Construction collaborative du cahier des charges

Une fois que les cahiers des charges électrique, mécanique et de fabrication sont disponibles sur le serveur, l'architecte de la phase d'optimisation lance le module de gestion de cohérence de CoSTo. Ce module vérifie l'ensemble des contraintes définies sur les paramètres communs par chaque concepteur. Six paramètres d'entrée et quatre paramètres de sorties communs sont à négocier (voir figure 71).

En se basant sur les contraintes développées par chacun, les concepteurs négocient chacun de ces paramètres et essaient en expliquant leurs contraintes et en argumentant leur décision de trouver un compromis acceptable par tous .

Liste des paramètres d'entrée et de sortie contradictoires      Négociation collaborative des contraintes

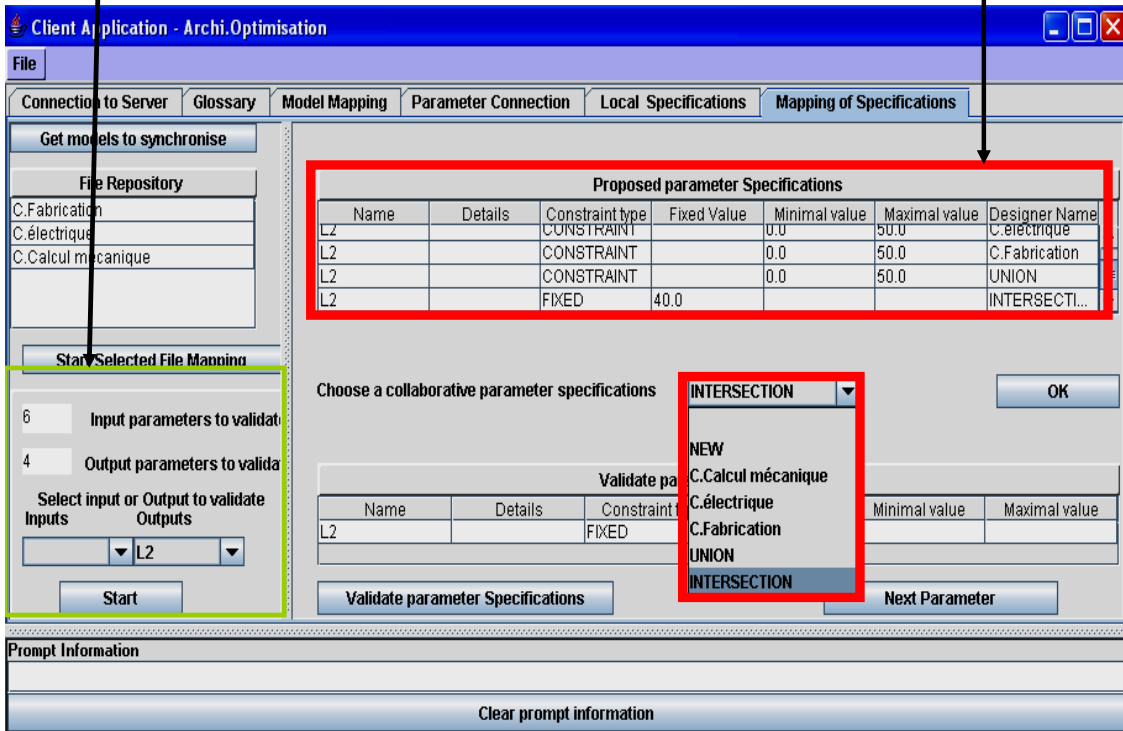


Figure 71 : Négociation des contraintes des paramètres communs

Les concepteurs suivent l'évolution du cahier des charges collaboratif en le téléchargeant depuis le serveur, chaque fois qu'ils le souhaitent (voir figure 72).

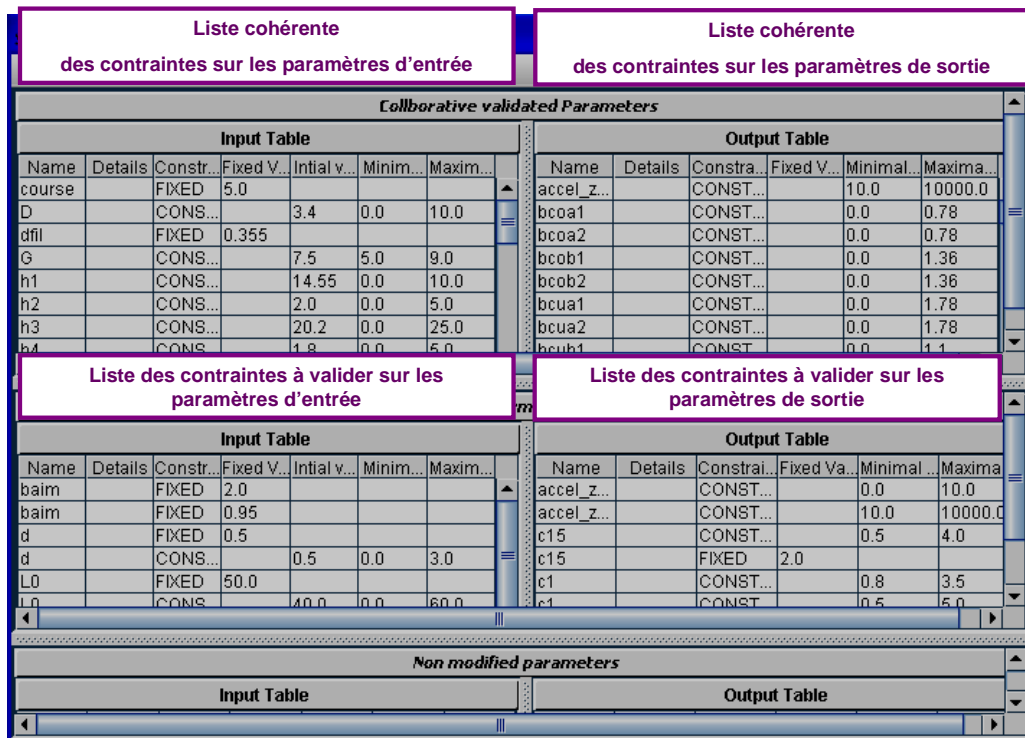


Figure 72 : Suivi de l'évolution du cahier des charges collaboratif

## II.7.Phase 7 : optimisation sous contraintes

Une fois que toutes les incohérences entre les contraintes métiers sont levées, le chef d'optimisation enregistre le cahier des charges pour l'optimisation dans un fichier au format xml. En utilisant CdiOptimizer [Mag04], le composant logiciel de calcul global et le cahier de charges collaboratif contenant l'ensemble ses contraintes pluridisciplinaires vont être pilotés pour le dimensionnement du déclencheur électromécanique (voir figure 73).

Plusieurs itérations sont indispensable pour affiner les cahier des charges en resserrant ou en relâchant les contraintes. Des retours en phases de modélisation sont aussi possibles pour définir des contraintes supplémentaires ou pour définir des nouveaux paramètres communs.

Input name	Input value	Output name	Output value
h3	8.257576510675662	bcua1	1.2478748190800195
h4	1.73345390490304	bcua2	0.9852290215014052
h5	0.4748446900889106	bcub1	1.0999994729922902
h6	0.9	bcub2	0.8684776612667272
h8	10.903885134320028	bn1	1.9299991476486276
h9	7.757576510675661	bn2	1.5237835900385066
muaim	1.1	c1	1.621836911284083
muzero	1.2566E-6	c10	1.480626935453916
n	207.09668570285334	c11	0.5000000000000009
praim	10.0	c12	4.076721726546702
prcui	5.0	c13	12.012183729311982
prfer	1.0	c14	0.8999999999999999
r1	13.486229243794806	c15	1.9999999999999982
r10	11.364392332510723	c2	0.5
r2	11.864392332510723	c3	3.7748068486730393
r3	7.089585483837685	c4	0.4999999999999991
r4	6.380626935453916	c5	0.4999999999999991

Figure 73 : Résultats de l'optimisation par CdiOptimser[Mag 04]

## III. Test d'une première version de CoSTo dans un cadre pédagogique

Une première version de CoSTo a été fournie aux élèves ingénieurs durant la troisième année du module d'ingénierie collaborative réalisé entre l'ENSHMG et l'ENSIEG. Au cours des expériences de dimensionnement collaboratif via internet, les étudiants ont utilisé CoSTo pour :

- mettre un cahier des charges initial sur le serveur,
- le consulter et le modifier durant des phases de travail asynchrone dans leurs métiers,
- prendre la main pour pouvoir le mettre à jour sur le serveur.

Ainsi, en se passant la main, les concepteurs ont contribué à la construction collaborative d'une liste cohérente des contraintes pour l'optimisation globale de la structure. L'utilisation de cet outil d'aide a permis de guider les étudiants vers une stratégie d'optimisation globale.

Ces expériences ont aussi mis en évidence l'importance de la phase d'analyse des résultats de manière collaborative. Plusieurs itérations d'optimisation sont nécessaires avant d'aboutir à une solution acceptable. En effet, l'obtention d'une structure satisfaisante est le résultat d'une longue phase d'affinement des contraintes du cahier des charges qui se construit de manière dynamique tout au long du processus.

Ces résultats restent bien sûr à valider dans un contexte industriel et par d'autres expériences à définir.

### ***Conclusion***

Dans de ce chapitre, nous avons présenté un scénario d'optimisation collaborative à distance d'un déclencheur électromécanique Ce scénario s'appuie sur une stratégie de dimensionnement intégré qui a été instrumentée dans un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif à distance : CoSTo. Les différentes fonctionnalités de cet outil ont été développées de manière à répondre aux besoins des concepteurs en terme d'échange et de gestion d'informations informelles, de synchronisation et de résolution de conflits d'intérêts. L'utilisation de cet environnement permet d'aider les concepteurs à obtenir un modèle global et un cahier des spécifications plus cohérent en vue d'une optimisation globale de la structure.

L'instrumentation de la phase d'analyse collaborative des résultats de l'optimisation est une des perspectives envisagées de ce travail.

---

## *CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES*

---

# *CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES*

## **I. Conclusion**

Ces travaux de thèse ont contribué à apporter une lumière sur la position importante du concepteur dans l'activité de dimensionnement des produits techniques dans le domaine du génie électrique. L'approche expérimentale qui consiste à observer les concepteurs dans une telle situation, part de ce principe. Ainsi pour spécifier notre environnement d'aide, nous nous sommes appuyés sur l'analyse des besoins des concepteurs à laquelle ont contribué plusieurs collaborateurs pluridisciplinaires qui interviennent dans le cadre du projet régional COSMOCE.

L'observation des expériences a mis en évidence plusieurs caractéristiques importantes de cette activité. Le large spectre de compétences avec lequel nous avons collaboré pour l'observation et l'analyse des expériences a apporté un regard extérieur enrichissant qui a mis en évidence diverses caractéristiques importantes de cette activité:

- l'importance des phases de travail asynchrones pour l'approfondissement des tâches métiers,
- l'importance des phases de travail synchrone pour l'intégration des contraintes inter-métier,
- l'importance de la coordination et l'animation des phases synchrones,
- le besoin de supports pour la gestion et pour la prise en charge des données formelles et informelles,
- l'importance de la confiance mutuelle et de la connaissance préalable entre les concepteurs travaillant à distance,
- l'importance de la phase de synchronisation cognitive pour aider à la construction collaborative des espaces de connaissance partagés (Exemple: le glossaire des paramètres, le cahier des charges commun...)

Dans le but d'apporter des éléments de réponse à tous ces besoins, nous avons défini un ensemble de fonctionnalités et de scénarios pour notre environnement :

- il assiste les concepteurs durant leurs phases de travail synchrone animées par un architecte, ou animateur,
- il prend en compte les phases de travail asynchrones dans les métiers et les assiste (phase de développement des contraintes métiers pour l'optimisation),
- il propose un ensemble de supports pour l'échange des données (modèles et cahiers des charges),
- il propose des supports encourageant la synchronisation cognitive (par exemple: le glossaire).

CoSTo a été développé pour fonctionner en parfaite adéquation avec les différents outils d'aide au dimensionnement utilisés au Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, ou les autres outils d'aide au dimensionnement classique. Durant les phases de travail asynchrone, les concepteurs peuvent continuer à utiliser ces outils de CAO. Durant la phase de travail collaboratif synchrone, notre environnement prend la relève et permet ainsi aux différents intervenants d'échanger et de gérer les interdépendances entre leurs tâches respectives. Il fonctionne parallèlement aux outils de transmission audiovisuelle qui assurent les échanges informels entre les concepteurs.

CoSTo a été développé pour assister les concepteurs dans une démarche de dimensionnement intégrée qui se compose de deux phases importantes: la modélisation et l'optimisation collaborative. Durant la phase de construction collaborative du modèle global, il apporte une aide à la gestion des interdépendances multimétiers entre les différents groupes métiers que ce soit par le glossaire des paramètres ou par le module de détection et de gestion des paramètres communs. Il apporte aussi selon différents scénarios une aide pour la construction collaborative du cahier des charges contenant des contraintes pluridisciplinaires cohérentes obtenues grâce à son module de détection et de gestion des conflits.

## **II. Quelques perspectives**

### ***II.1. Validation quantitative***

Une première validation a été effectuée par l'utilisation d'une version préliminaire de CoSTo dans le cadre d'un module d'enseignement pédagogique pour des élèves ingénieurs de troisième année de l'ENSIEG et de l'ENSHMG. Ce test montre les apports de cet environnement surtout pour guider les concepteurs vers une approche d'optimisation intégrée.



Il s'agit ici d'une première validation qualitative de cet environnement. Depuis, une nouvelle version plus enrichie de CoSTo a été élaborée. Des nouveaux tests de celle-ci permettant une analyse "quantitative" plus fine sont donc à définir dans les premières perspectives de ce travail. Il est intéressant par exemple de voir de manière plus détaillée quelles sont les fonctionnalités de CoSTo qui seront le plus utilisées par les concepteurs?

### ***II.2. Validation dans le contexte industriel***

Une validation par l'utilisation de cet environnement dans un cadre industriel présente aussi d'autres perspectives envisageables à ce travail. Un travail supplémentaire pour inclure d'autres fonctionnalités relatives à des besoins spécifiques au contexte industriel doit être effectué préalablement.

### ***II.3. Analyse des résultats de l'optimisation***

Durant le processus de dimensionnement, l'obtention d'une solution optimale se fait de manière dynamique et évolutive. Les concepteurs vont au fur et à mesure qu'ils approfondissent leurs tâches, définir ou limiter l'espace des solutions acceptables. De même, les contraintes pour l'optimisation définies dans le cahier des charges vont être de plus en plus précises chaque fois que les concepteurs analysent les résultats de leurs optimisations. Les prochaines fonctionnalités à définir pour les versions suivantes de CoSTo sont donc en relation avec cette phase. Nous pouvons citer ici quelques exemples de fonctionnalités:

- afficher et analyser de manière collaborative le fichier des résultats de l'optimisation,
- visualiser les contraintes proposées par chaque concepteur pour les paramètres communs, et les résultats obtenus après l'optimisation,
- intégrer des modules de calcul et de visualisation permettant d'effectuer un calcul de sensibilité et de visualiser l'évolution de ces paramètres sur chaque poste client...

### ***II.4. Traçabilité de l'évolution des modèles et des cahiers des charges***

Permettre la traçabilité de l'évolution des cahiers des charges et des modèles présente aussi une des perspectives de ce travail. En effet, cette fonctionnalité possède des apports à court et à long terme. En effet, le processus de dimensionnement est itératif et se base sur une stratégie d'alternance entre les phases de travail synchrone et asynchrone. A court terme, cette fonctionnalité permettrait aux concepteurs d'avoir du recul par rapport à l'évolution de leurs tâches, de leurs contraintes et de leurs objectifs. A long terme, la traçabilité permettrait la capitalisation du savoir faire, du contexte et des diverses informations échangées tout au long

du projet. Elle permettrait enfin au chercheur d'analyser cette évolution du cahier des charges commun. Le chercheur pourra notamment quantifier si l'introduction de CoSTo favorise l'augmentation quantitative des contraintes et des paramètres communs

### ***II.5. Composition des modèles en Boite Blanche [Ala03]***

La composition des modèles se fait actuellement sans que les concepteurs ne connaissent ou manipulent les détails développés dans les modèles. Jusque là, CoSTo ne manipule que les entrées et les sorties des composants logiciels de calcul encapsulant les modèles métiers. Une deuxième stratégie de composition du modèle global peut être envisageable. Elle consiste à mettre ensemble les différents bouts de modèles métiers sous forme explicite, de telle manière à obtenir un modèle analytique global. Elle nécessite de vérifier des cohérences des noms des paramètres et l'ordonnement des équations qui constituent le modèle global. Une autre de nos perspectives est donc d'adapter notre environnement en lui ajoutant des nouvelles fonctionnalités pour prendre en charge cette approche de composition.

### ***II.6. Analyser les apports et les limites cognitifs de l'utilisation de CoSTo***

CoSTo a été développé pour guider les concepteurs à mettre en place une démarche d'optimisation qui intègre les contraintes pluridisciplinaires et optimise la solution de manière globale. Cependant, cette stratégie apporte une charge cognitive supplémentaire pour les concepteurs. Elle est engendrée par la construction commune des modèles et des contraintes communes. Cette charge cognitive augmente aussi par la nécessité de gérer un environnement supplémentaire pour la coordination en plus des différents outils métiers. Analyser l'impact de l'utilisation de CoSTo et trouver un équilibre entre ses apports et la charge cognitive qu'il engendre présente pour nous une des perspectives à ce travail.

### ***II.7. D'autres phases du processus de conception***

Dans le contexte industriel actuel, coopérer à distance se généralise de plus en plus et devient indispensable pour assurer plus de compétitivité. CoSTo n'est qu'un environnement de départ pour le travail à distance. Il est consacré jusqu'à la phase de dimensionnement. Une des perspectives ultimes sera d'élargir cette démarche en adaptant CoSTo pour partager dynamiquement des modèles, définir la structure de manière collaborative...

---

## *ANNEXES*

---

## ANNEXE I

### CAHIER DES CHARGES INTIAL

Cette annexe est dédiée à la présentation du cahier des charges fournit aux étudiants. Puis nous vous présentons un extrait du modèle analytique qu'a utilisé le groupe électrique pour l'optimisation de cette structure. Nous finirons par la présentation d'un cahier des charges pour l'optimisation développé au format XML.

#### Quelques contraintes

Encombrement maxi : en position haute  $L = 30\text{mm} * H_{\text{max}} = 40\text{mm}$

Energie de percussion minimale de  $0,12\text{ J}$

Temps de réponse inférieur à  $3.5\text{ms}$

Force résiduelle de poussée en position haute :  $f_{\text{reph}} = 15\text{N}$

Tenue au choc en position basse : accélération de  $2000\text{m.s}^{-2}$

Problème du réamorçage du contacteur : proposer des solutions

#### Premier schéma de principe

Un aimant doit être positionné dans le circuit magnétique. Il permet de positionner le noyau en position basse et d'assurer la tenue au choc dans cette position.

La bobine permet de libérer le noyau

Prévoir mécaniquement une solution pour le maintien du noyau en position haute et éventuellement augmenter la force produite par la bobine pour le déplacement du noyau (voir figure 74).

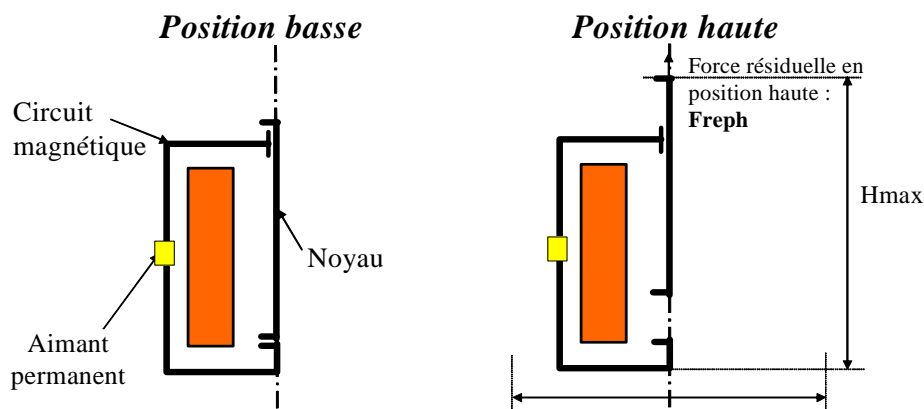


Figure 74 : Schéma de principe du déclencheur à concevoir

## ANNEXE II

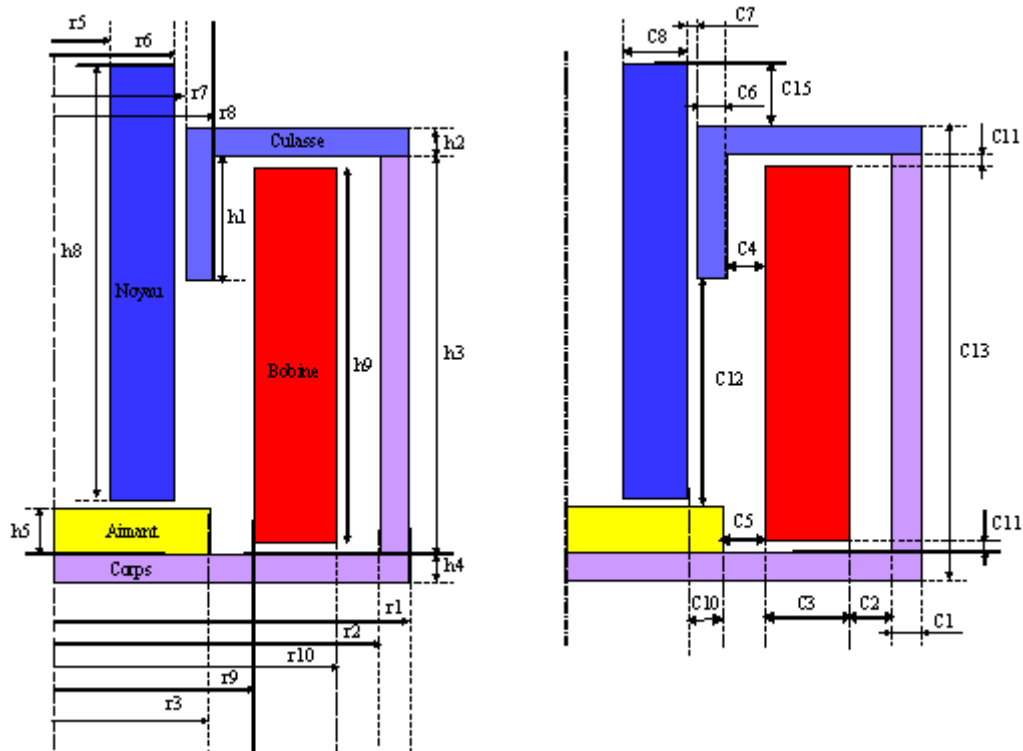
### MODELE ANALYTIQUE DU GROUPE ELECTROMECHANIQUE

#### Dimensions et contraintes géométrique :

#### Variables diverses utilisées pour le fonctionnement du programme Mathcad:

mm permet de passer des mm au m

$$\text{mm} := 10^{-3}$$



#### Variables dimensionnelles selon le rayon du déclencheur :

#### Variables dimensionnelles en mm selon la hauteur du déclencheur :

$$r1 := 13.55$$

$$h1 := 14.55$$

$$r2 := 12.2$$

$$h2 := 2$$

$$r3 := 6$$

$$h3 := 20.2$$

$$r5 := 2$$

$$h4 := 1.8$$

$$r6 := 4.1$$

$$h5 := 1.75$$

$$r7 := 4.45$$

$$h8 := 9.1$$

$$r8 := 5.85$$

$$h9 := 18$$

$$r9 := 6.7$$

$$r10 := 11$$

### **Caractéristiques des matériaux:**

Perméabilité du vide

$$\mu0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

Perméabilité relative de l'aimant

$$\mu\_aim := 1.1$$

Induction rémanente de l'aimant en T

$$B\_aim := 0.95$$

Masse volumique du noyau en kg/mm<sup>3</sup>

$$mvol := 1.1332 \cdot 10^{-5}$$

### **Autres caractéristiques constitutionnelles du déclencheur**

Entrefer résiduel minimal en mm

$$zmin := 0.025$$

Entrefer résiduel maximal en mm

$$zmax := 0.1$$

Nombre de spire de la bobine

$$n := 500$$

Capacité en Farad

$$C := 100 \cdot 10^{-6}$$

Tension de charge de la capacité en V

$$E := 20$$

Résistance du circuit électrique en Ohm

$$R := 5$$

Masse du noyau en kg

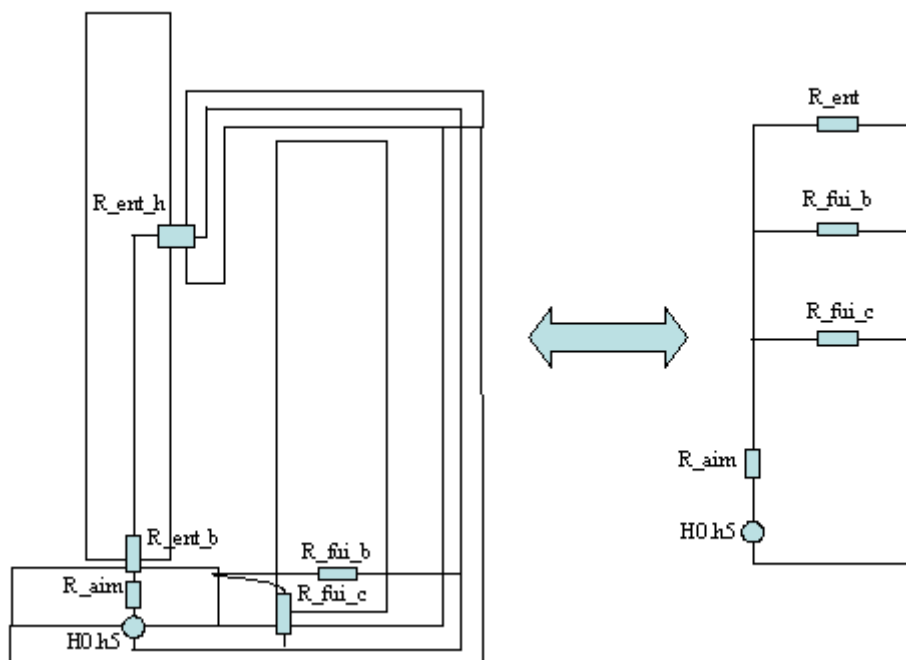
$$masse := mvol \cdot \pi \cdot (r6^2 - r5^2) \cdot h8$$

$$\text{masse} = 4.15 \times 10^{-3}$$

### Schéma réductant :

Le calcul des différentes grandeurs du déclencheur est basé sur un réseau réductant résultant du théorème de superposition des sources de solévation composant le déclencheur que sont l'aimant et la bobine. Chacune de ces sources est prise individuellement et alimente un réseau de réductances. Les deux réseaux sont donc traités séparément ci-dessous.

#### - Aimant, bobine non alimentée:



#### - Bobine alimentée seule source de solévation:

Le dimensionnement que l'on appréhende ici ne considère pas le courant dans la bobine. L'expérience montre que pour des calculs de forces exercées sur le noyau et de vitesse du noyau, l'hypothèse consistant à ne considérer que le ressort est tout-à-fait acceptable. Ainsi, dans la suite, nous ne considérons pas la contribution de la bobine. On suppose juste que la force qu'elle exerce est suffisante pour décoller le noyau, le ressort prenant ensuite le relai

Le modèle que l'on retient ici est considéré comme étant statique, avec différents états : position basse et position haute.

### CALCUL DE LA HAUTEUR H EN mm:

Hauteur commune entre le noyau et la culasse  
normalement :

$$z + h8 + h5 + h1 - h3$$

Hauteur commune entre le noyau et la culasse : constante, donc :

$$h := h1 + h2$$

### **CALCUL DES RELUCTANCES EN 1/H:**

Réductance de l'aimant

$$r_{\text{aim}} := \frac{1}{\mu 0 \cdot \mu_{\text{aim}}} \cdot \frac{h5}{\pi \cdot r3^2} \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$r_{\text{aim}} = 1.119 \times 10^7$$

Réductance d'entrefer au niveau du bas du noyau

$$r_{\text{ent\_b}}(z) := \frac{1}{\mu 0} \cdot \frac{z}{\pi \cdot (r6^2 - r5^2)} \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$r_{\text{ent\_b}}(z_{\text{min}}) = 4.943 \times 10^5$$

$$r_{\text{ent\_b}}(z_{\text{max}}) = 1.977 \times 10^6$$

Réductance d'entrefer au niveau de la circonférence du noyau

$$p_{\text{ent\_a}}(z) := \frac{\mu 0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot h}{\ln\left(\frac{r7}{r6}\right)} \cdot \text{mm}$$

$$p_{\text{ent\_a}}(z_{\text{min}}) = 1.595 \times 10^{-6}$$

$$p_{\text{ent\_a}}(z_{\text{max}}) = 1.595 \times 10^{-6}$$

$$p_{\text{ent\_b}} := 3.3 \cdot \mu 0 \cdot \frac{r7 + r8}{2} \cdot \text{mm}$$

$$p_{\text{ent\_b}} = 2.136 \times 10^{-8}$$

$$r_{\text{ent\_h}}(z) := \frac{1}{p_{\text{ent\_a}}(z) + p_{\text{ent\_b}}}$$

$$r_{\text{ent\_h}}(z_{\text{min}}) = 6.186 \times 10^5$$

$$r_{\text{ent\_h}}(z_{\text{max}}) = 6.186 \times 10^5$$

Réductance d'entrefer totale

$$r_{\text{ent}}(z) := r_{\text{ent\_b}}(z) + r_{\text{ent\_h}}(z)$$

$$r_{\text{ent}}(z_{\text{min}}) = 1.113 \times 10^6$$

$$r_{\text{ent}}(z_{\text{max}}) = 2.596 \times 10^6$$

### **CALCUL DES RELUCTANCES DE FUITE EN 1/H:**

Réductance de fuite entre l'aimant et la culasse à travers la bobine



$$r_{\text{fui\_b}} := \frac{1}{\mu_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (h5)} \cdot \ln\left(\frac{r2}{r3}\right) \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$r_{\text{fui\_b}} = 5.136 \times 10^7$$

Réductance de fuite de l'aimant par l'intermédiaire du corps

$$r_{\text{fui\_c}} := \frac{1}{\left[ \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \left( r3 + \frac{h5}{2} \right)}{0.65^2} \right]} \cdot \frac{1}{\text{mm}}$$

$$r_{\text{fui\_c}} = 2.445 \times 10^7$$

Réductance de fuite totale

$$r_{\text{fui}} := \frac{1}{\left( \frac{1}{r_{\text{fui\_b}}} + \frac{1}{r_{\text{fui\_c}}} \right)}$$

$$r_{\text{fui}} = 1.657 \times 10^7$$

### CALCUL DES FLUX CREES PAR L'AIMANT EN Wb:

Flux total traversant l'aimant

$$fl_{\text{tot}}(z) := \frac{\frac{B_{\text{aim}} \cdot h5 \cdot \text{mm}}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{aim}}}}{r_{\text{aim}} + \frac{r_{\text{ent}}(z) \cdot r_{\text{fui}}}{r_{\text{ent}}(z) + r_{\text{fui}}}}$$

$$fl_{\text{tot}}(z_{\text{min}}) = 9.829 \times 10^{-5}$$

$$fl_{\text{tot}}(z_{\text{max}}) = 8.95 \times 10^{-5}$$

Flux total de fuite

$$fl_{\text{fui}}(z) := \frac{r_{\text{ent}}(z) \cdot fl_{\text{tot}}(z)}{r_{\text{ent}}(z) + r_{\text{fui}}}$$

$$fl_{\text{fui}}(z_{\text{min}}) = 6.188 \times 10^{-6}$$

$$fl_{\text{fui}}(z_{\text{max}}) = 1.213 \times 10^{-5}$$

Flux traversant le noyau

$$fl_{\text{noy}}(z) := \frac{r_{\text{fui}} \cdot fl_{\text{tot}}(z)}{r_{\text{ent}}(z) + r_{\text{fui}}}$$

$$fl_{\text{noy}}(z_{\text{min}}) = 9.21 \times 10^{-5}$$

$$fl_{\text{noy}}(z_{\text{max}}) = 7.737 \times 10^{-5}$$

Flux traversant la surface au bas du noyau

$$fl_{\text{noy\_s}}(z) := 0.9 \cdot fl_{\text{noy}}(z)$$

$$fl\_noy\_s(zmin) = 8.289 \times 10^{-5}$$

$$fl\_noy\_s(zmax) = 6.964 \times 10^{-5}$$

hypothèse simplificatrice : pas de Flux de fuite par la culasse à coté du noyau

Flux de fuite par la culasse à travers la bobine

$$fl\_fui\_b(z) := \frac{fl\_tot(z) \cdot r\_fui\_c}{r\_fui\_c + r\_fui\_b}$$

$$fl\_fui\_b(zmin) = 3.17 \times 10^{-5}$$

$$fl\_fui\_b(zmax) = 2.887 \times 10^{-5}$$

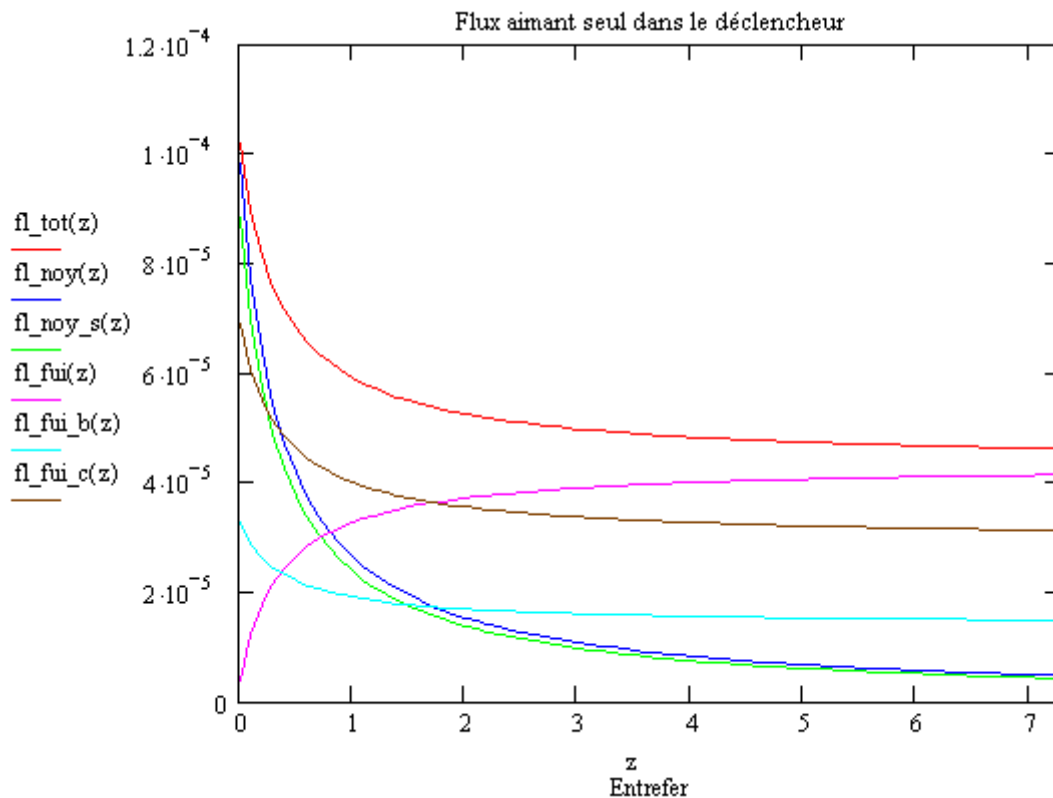
Flux de fuite de l'aimant par l'intermédiaire du corps

$$fl\_fui\_c(z) := \frac{r\_fui\_b \cdot fl\_tot(z)}{r\_fui\_c + r\_fui\_b}$$

$$fl\_fui\_c(zmin) = 6.659 \times 10^{-5}$$

$$fl\_fui\_c(zmax) = 6.063 \times 10^{-5}$$

z := 0, 0.1 .. 7.3



**Calcul du flux crée par la bobine dans le noyau :**

$$fl\_noy\_b(z,i) := \frac{n \cdot i}{r\_aim + r\_ent(z)}$$

**Calcul des inductions**

### Induction dans le noyau

$$b\_noy(z) := \frac{fl\_noy(z)}{\pi \cdot (r6^2 - r5^2) \cdot mm^2}$$

$$b\_noy(zmin) = 2.289$$

$$b\_noy(zmax) = 1.923$$

### Induction dans la culasse au niveau du noyau

$$b\_cul\_a(z) := \frac{fl\_noy(z)}{\pi \cdot (r8^2 - r7^2) \cdot mm^2}$$

$$b\_cul\_a(zmin) = 2.033$$

$$b\_cul\_a(zmax) = 1.708$$

### Induction dans la culasse en haut

$$b\_cul\_b(z) := \frac{fl\_noy(z)}{2 \cdot \pi \cdot r8 \cdot h2 \cdot mm^2}$$

$$b\_cul\_b(zmin) = 1.253$$

$$b\_cul\_b(zmax) = 1.053$$

### Induction dans le corps au niveau de la bobine

$$b\_cor\_a(z) := \frac{fl\_noy(z) + fl\_fui\_b(z)}{\pi \cdot (r1^2 - r2^2) \cdot mm^2}$$

$$b\_cor\_a(zmin) = 1.134$$

$$b\_cor\_a(zmax) = 0.973$$

### Induction dans le corps au niveau de l'aimant

$$b\_cor\_b(z) := \frac{fl\_tot(z)}{2 \cdot \pi \cdot r3 \cdot h4 \cdot mm^2}$$

$$b\_cor\_b(zmin) = 1.448$$

$$b\_cor\_b(zmax) = 1.319$$

## Calcul des forces en présence :

### Force du ressort

$$F\_res(z) := -1.2 \cdot (z + 25.0) + 60$$

$$F\_res(zmin) = 29.97$$

$$F\_res(zmax) = 29.88$$

### Force magnétique

$$F\_mag(z,i) := \frac{(fl\_noy\_s(z) - fl\_noy\_b(z,i))^2}{2 \cdot \mu0 \cdot \pi \cdot (r6^2 - r5^2)} \cdot \frac{1}{mm^2}$$

$$F\_mag(zmin,0) = 67.928$$

$$F\_mag(zmax,0) = 47.944$$

### Force totale exercée sur le noyau

$$F\_tot(z,i) := F\_res(z) - F\_mag(z,i)$$

$$F\_tot(zmin,0) = -37.958$$

$$F\_tot(zmax,0) = -18.064$$

$$c1 := r1 - r2$$

$$c1 = 1.35$$

$$c2 := -r10 + r2$$

$$c2 = 1.2$$

$$c3 := -r9 + r10$$

$$c3 = 4.3$$

$$c4 := r9 - r8$$

$$c4 = 0.85$$

$$c5 := -r3 + r9$$

$$c5 = 0.7$$

$$c6 := -r7 + r8$$

$$c6 = 1.4$$

$$c7 := -r6 + r7$$

$$c7 = 0.35$$

$$c8 := r6 - r5$$

$$c8 = 2.1$$

$$c10 := -r6 + r3$$

$$c10 = 1.9$$

$$c11 := h3 - h9$$

$$c11 = 2.2$$

$$c12 := -h1 + h3 - h5$$

$$c12 = 3.9$$

$$c13 := h3 + h4 + h2$$

$$c13 = 24$$

$$c15 := h8 + h5 - (h3 + h2)$$

$$c15 = -11.35$$

## ***ANNEXE III***

### ***EXEMPLE DE CAHIER DES CHARGES POUR LE DIMENSIONNEMENT***

Le cahier des charges suivant a été fourni aux étudiants pour les guider dans le processus de dimensionnement collaboratif de la structure précédemment définie.

//\*\*\*\*\*

// Paramètre d'entrée

//\*\*\*\*\*

Baim=0.95

Dfil=0.355

0 <h1< 10 ini=14.55

0 <h2< 5 ini=2

0 <h3< 25 ini=20.2

0 <h4< 5 ini=1.8

0 <h5< 5 ini=1.75

h6=0.9

0 <h8< 25 ini=9.1

0 <h9< 20 ini=18

muaim=1.1

muzero=1.2566.10<sup>-6</sup>

20 <n< 600 ini=540

praim=10

prcui=5

prfer=1

0 <r1< 15 ini=13.55

0 <r10< 15 ini=11

0 <r2< 15 ini=12.2

0 <r3< 10 ini=6

0 <r4< 10 ini=5.5

0 <r5< 5 ini=2

0 <r6< 10 ini=4.1

```
0 <r7< 10 ini=4.3
0 <r8< 10 ini=5.85
0 <r9< 10 ini=6.7
zmin=0.03
zmax=0.08
```

```
//*****
```

```
//Contraintes géométrique
```

```
//*****
```

```
0.5 <C1<5
0.5 <C2<5
0.5 <C3<5
0.5 <C4<5
0.5 <C5<5
0.5 <C6<5
0.1 <C7<5
0.5 <C8<5
0.5 <C9<5
0.75<C10< 5
0.5 <C11< 5
2 <C12< 10
5 <C13< 24
0.9 <C14< 1
C15=2
```

```
//*****
```

```
//Questions posées aux étudiants:
```

```
//*****
```

Déterminer rayon de aimant = rayon disque ?  
Quelle est la limite de C7 pour assurer la translation?  
Quelle est la limite minimale pour placer un aimant?  
Calculer le dépassement du percuteur.

## ***ANNEXE IV***

### ***ANALYSE DES EXPERIENCES DE CONCEPTION COLLABORATIVE VIA INTERNET***

Durant les expériences de conception collaborative réalisées dans le cadre d'un module pédagogique intitulé "ingénierie collaborative" entre L'ENSHMG et L'ENSIEG, nous avons choisi un projet que nous avons filmé. Deux types de traces ont été construits durant deux années successives:

- Une trace audiovisuelle du comportement des concepteurs pendant le processus et des communications audio via des outils spécialisés (teemSpeack [*Tea*]).
- L'ensemble des documents collaboratifs formels et informels qui ont été enregistrés sur le serveur Claroline [*Cla*].

L'analyse de ces enregistrements nous a permis de spécifier les fonctionnalités de notre environnement d'aide au dimensionnement collaboratif présenté précédemment.

Nous allons présenter dans la première partie de cette annexe la démarche de cette analyse ainsi que les ressources et moyens sur lesquelles nous nous sommes basés pour la réaliser.

L'analyse des enregistrements s'est effectuée en deux étapes importantes:

- Une première étape d'analyse macroscopique de l'ensemble des enregistrements
- Une analyse microscopique avec un outil spécifique (effectuée par des spécialistes en sciences humaines et sociales) de quelques passages que nous avons sélectionnés.

Nous allons donc dans la dernière partie de cette annexe vous présenter brièvement l'analyse microscopique effectuée des extraits que nous avons sélectionnés.

#### **Cadre et démarche de l'analyse des expériences**

Ce travail d'analyse s'intègre dans le cadre d'un projet régional auquel nous avons participé. Nous allons maintenant présenter plus de détails sur le projet et sur les partenaires avec qui nous avons collaboré dans ce travail.

#### **Le projet COSMOCE**

Il s'agit d'un projet collaboratif intitulé COSMOCE "**Conception, Outils, Supports, Médias, et Organisation pour la Collaboration des Entreprises**". Il s'agit d'un programme de recherche financé dans le cadre de la thématique "STIC Entreprise Virtuelle", l'une des thématiques prioritaires de la région Rhône-Alpes.

Le projet s'intéresse à l'étude de l'activité de conception "intégrée" et à distance "via internet". Il s'agit ici de l'intégration des besoins et des contraintes concernant à la fois

- le produit qui requière généralement la participation d'experts de différents métiers,
- les processus de fabrication,
- l'organisation industrielle qui permettra la production et la commercialisation du produit.

L'objectif de ce travail est de supporter l'activité collaborative des concepteurs par des outils adaptés. Deux axes principaux ont été développés par ce projet:

- l'analyse des activités collaboratives de conception
- la modélisation, la spécification et le développement d'environnement numérique de co-conception [*Cos*]

En plus des différents laboratoires de plusieurs domaines, ce projet régional a aussi mobilisé des industriels et d'autres collaborateurs experts en ergonomie cognitive du CNAM de Paris (voit tableau 8)

**Tableau 8 : Les intervenants dans le projet COSMOCE**

Intervenant	Discipline	Ville
Laboratoire 3S, pôle Conception Intégrée	Génie mécanique	Grenoble
Laboratoire LEG, équipe conception et dimensionnement intégrés	Génie électrique	Grenoble
Laboratoire GILCO	Génie industriel	Grenoble
Laboratoire RIM	Informatique	Saint Etienne
Laboratoire LIRIS	Informatique	Lyon
ICAR	Sciences humaines et sociales	Lyon
CNAM	Ergonomie cognitive	Paris
Volvo Information Technology	Industriel Automobile	Lyon

C'est dans le cadre de ce projet pluridisciplinaire, nous avons participé aux observations et à l'analyse du corpus qui a été formé durant les expériences de conception collaborative à distance entre les élèves ingénieurs de l'ENSIEG et l'ENSHMG. Nous allons maintenant développer la démarche d'analyse que nous avons adoptée pour la spécification de notre environnement COSTO.



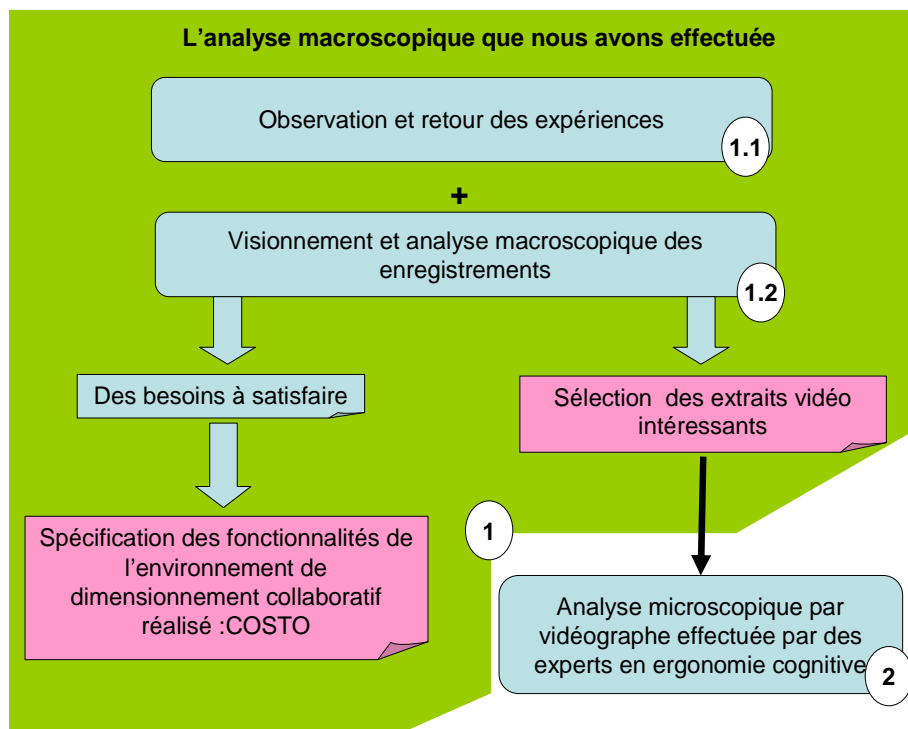
## La démarche d'analyse

L'analyse des expériences s'est effectuée selon deux degrés de granularité:

- une analyse macroscopique basée sur les observations et les enregistrements
- une analyse microscopique de quelques extraits vidéo avec un outil spécialisé "vidéographe" [Ren06], [Cas06]

En effet, l'analyse macroscopique s'est basée dans un premier temps sur les retours des expériences effectués par les observateurs multidisciplinaires du projet COSMCE dont nous avons fait partie. Dans un deuxième temps, nous avons visionné l'ensemble des enregistrements effectués durant les deux années successives des expériences. Cela nous a permis d'aboutir à

- un ensemble de besoins et des problèmes à résoudre pour assister les concepteurs
- sélectionner quelques passages importants qui vont être analysé par la suite plus finement par des experts en ergonomie cognitive (voir figure 75).



**Figure 75 : Démarche d'analyse des expériences de conception collaborative à distance**

Nous consacrons la partie suivante de cette annexe à la présentation de l'analyse microscopique effectuée sur quelques passages du corpus de conception qui a été effectuée dans le cadre du projet COSMOCE par des spécialistes en ergonomie cognitive

## Analyse microscopique des expériences

L'analyse microscopique s'est effectuée en trois étapes:

- définition d'une grille d'analyse de l'activité
- synchronisation des enregistrements et codage du corpus
- résultats quantitatifs et statistiques

### ***Grille d'analyse de l'activité***

Un premier travail pour construire une grille d'analyse adaptée à l'activité était indispensable. Pour cela, A partir d'un travail préexistant [Hoh02], et en apportant différents point de vues pluridisciplinaires, une grille d'analyse adaptée à l'activité de conception collaborative à distance a été construite. Elle se compose de différents niveaux permettant d'analyser la situation selon des granularités différentes: les activités (voir tableau 2 et 3) et les interactions entre les concepteurs (voir tableau 4 et 5)

**Tableau 9 : Les activités**

Synchronisation Cognitive	Acquisition de connaissances dans le domaine des autres métiers participant au processus de conception, grâce à l'élaboration d'un référentiel opératif commun.
Proposition de solution ou d'exigences	Soumission d'une exigence, une solution à un examen, à une délibération de la part des autres métiers
Recherche de ressources	Recherche de documents, requêtes entre les métiers, recherche de compétences externes.
Evaluation	Déterminer la pertinence des solutions et des exigences proposées par rapport à un ou plusieurs critères (les critères sont définis par l'expertise)
Gestion de projet	Planification, animation, organisation de la conception
Coordination	Partage et maintien des représentations, demande ou apport d'aide, afin d'améliorer la coopération, mise à disposition de ses compétences, suivi et contrôle des procédures en cours
Relationnel	Echanges sans lien avec le travail de conception, dimension affective...

Nous allons maintenant présenter quelques passages qui correspondent à chacune de ces activités développées par cette grille.

**Tableau 10 : Exemples d'activités [CoS]**

Synchronisation Cognitive	<i>Groupe électrique</i> : "pourquoi ils veulent un trou dans l'aimant, c'est pour fixer le ressort?" <i>Groupe calcul mécanique</i> : "ouais voilà"
Proposition de solution ou d'exigences	<i>Groupe électrique</i> : "il faut fixer le rebord du ressort"
	<i>Groupe fabrication</i> : "est-ce que vous pensez Corine et Julie qu'il est possible de visser des vis dans la partie verte par exemple par en dessous pour fixer tout l'ensemble dans le boîtier de Julien."
Demande de ressources	<i>Groupe calcul mécanique</i> : "à quoi ressemblent les bobines"
Evaluation	<i>Groupe calcul mécanique</i> : propose de visser des vis dans la partie verte pour fixer l'ensemble dans le boîtier de Julien.
	<i>Groupe fabrication</i> répond: "ça me paraît difficilement possible de fixer ce système sur le boîtier avec la bobine".
Gestion de projet	<i>Groupe calcul mécanique</i> : "non c'était Julien qui parlait mais je pense que c'était une erreur, vas-y continue Corine, je voudrais savoir sur la bobine s'il te plaît."
Coordination	<i>Groupe électrique</i> : "on a ajouté donc le dessin que vous avez vu, et on a ajouté une copie d'écran..."
Relationnel	<i>Groupe fabrication</i> : " ouais ben on peut faire un percuteur dans l'espace à ce moment là on sera tous en lévitation"

**Tableau 11 : Les interactions collaboratives**

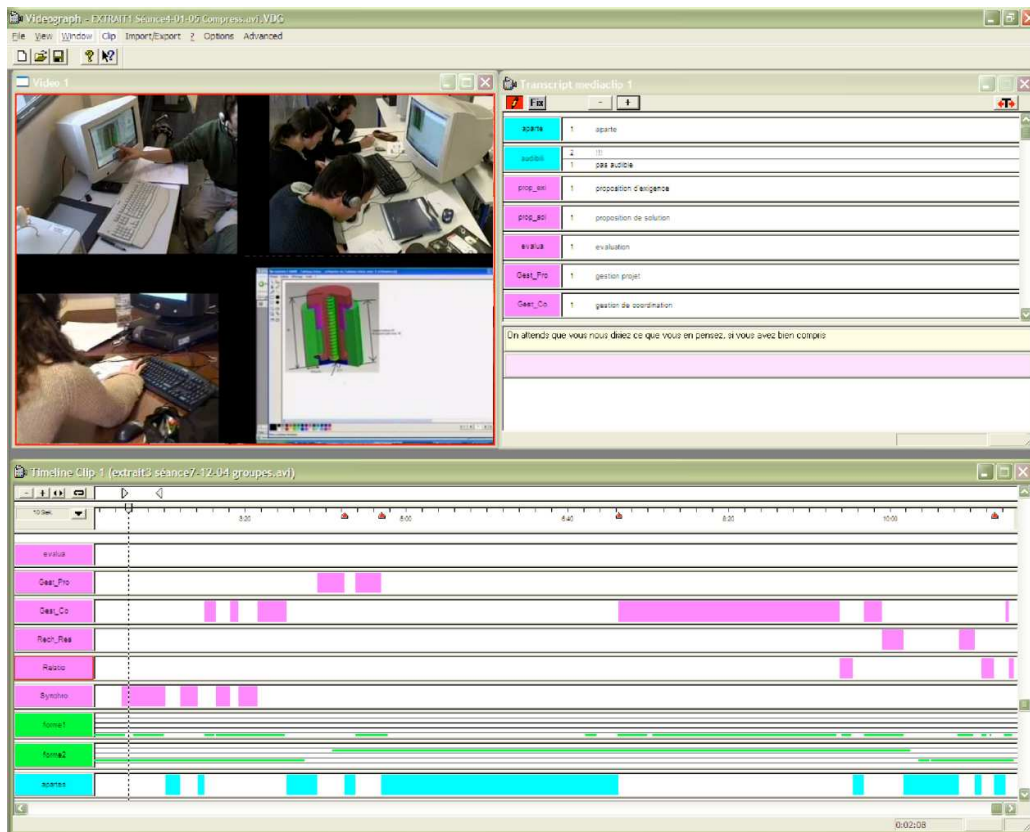
<b>Nature des interactions</b>	
Explication	développement d'une affirmation
Argumentation	répond à une attaque ou à une question
Interrogation	Question
Reformulation	Vérification de la compréhension du message émis
Affirmation	Enonciation, proposition
<b>Mode de médiation des interactions</b>	
Audio	communication orale
Ecrite	communication écrite
Vidéo	par exemple le flux vidéo de la webcam
Graphique	par exemple un croquis
Image	par exemple une capture d'écran

**Tableau 12 : Extraits de quelques interactions entre les concepteurs**

Argumentation	<i>Groupe calcul mécanique:</i> " si ta bobine elle contient une armature, une sorte de bâti, autour duquel tu entoures des fils donc ça peut peut-être être une possibilité
Explication	<i>Groupe électrique :</i> "on explique, en fait c'est comme si tu rajoutais une couche supplémentaire à ton aimant".
Enonciation	<i>Groupe électrique:</i> "peut-être qu'on pourrait le faire grâce à la protection de l'aimant qu'on rajouterait"
Interrogation	<i>Groupe fabrication:</i> "Corine et Julie, est-ce que l'aimant peut avoir un trou au milieu pour faire sortir le support jaune?"
Reformulation	<i>Groupe calcul mécanique:</i> " je vais peut-être essayer de répéter pour Julien, c'est des fils de cuivre entourés autour d'une sorte de bâti qui serait la structure de la bobine"

### **Synchronisation et codage des enregistrements**

Un travail de synchronisation sur les extraits que nous avons sélectionné a été effectué par les collaborateurs ergonomes. Un travail d'analyse et de codage du corpus synchronisé a été effectué par un groupe de collaborateurs issus du domaine des sciences humaines et sociales et en ergonomie cognitive. Ils ont utilisé pour cela le logiciel Vidéograph [Vid]. Il s'agit d'un outil de classification et d'analyse de données audiovisuelles. Ce logiciel permet à la fois de lire une vidéo numérisée, et de réaliser un codage et une transcription en temps réel de ce contenu [Cas06], [Ren06] (voir figure 76).



Codage des activités

Figure 76: Codage des images par vidéoGraphe

### Résultats d'analyses statistiques

Nous vous présentons maintenant, quelques résultats statistiques obtenus du traitement des données obtenues avec VideGraph (voir figure77 et 78)

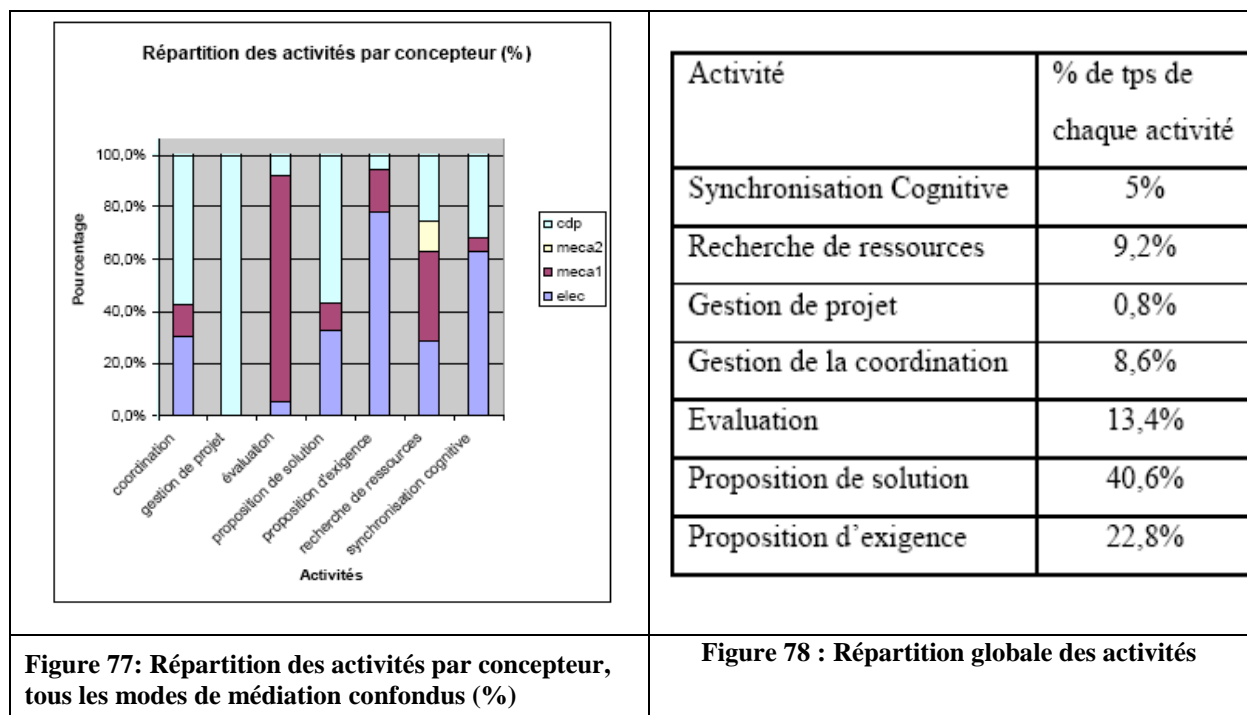


Figure 77: Répartition des activités par concepteur, tous les modes de médiation confondus (%)

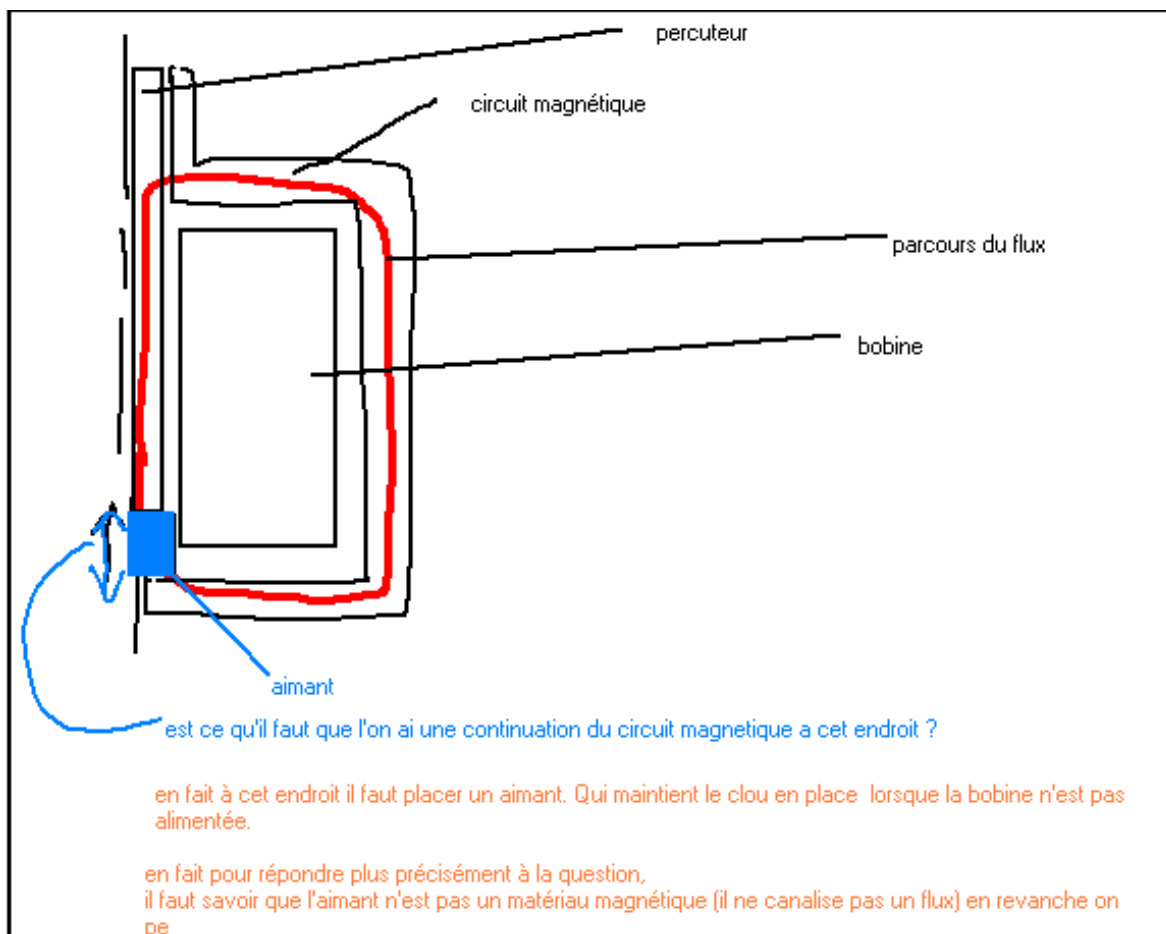
Figure 78 : Répartition globale des activités

## ANNEXE V

### ***DONNEES INFORMELLES ECHANGEES ENTRE LES CONCEPTEURS VIA LE TABLEAU BLANC DE NETMEETING***

Cette annexe présente divers types d'informations et de données informelles que les concepteurs se sont échangés durant les expériences effectuées entre des chercheurs du laboratoire LEG et du laboratoire 3S. Ces captures du tableau blanc de la session de NetMeeting illustrent la diversité des représentations, des données nécessaires au dimensionnement (dessin en 2D, dessin en 3D, ou croquis à main levé...)

Ils montrent aussi la richesse des interactions entre les concepteurs via des processus d'explication, de formulation de contraintes, de négociation et d'argumentation ... permettant de construire collaborative la solution finale.



**Figure 79 : Construction collaborative de la structure**

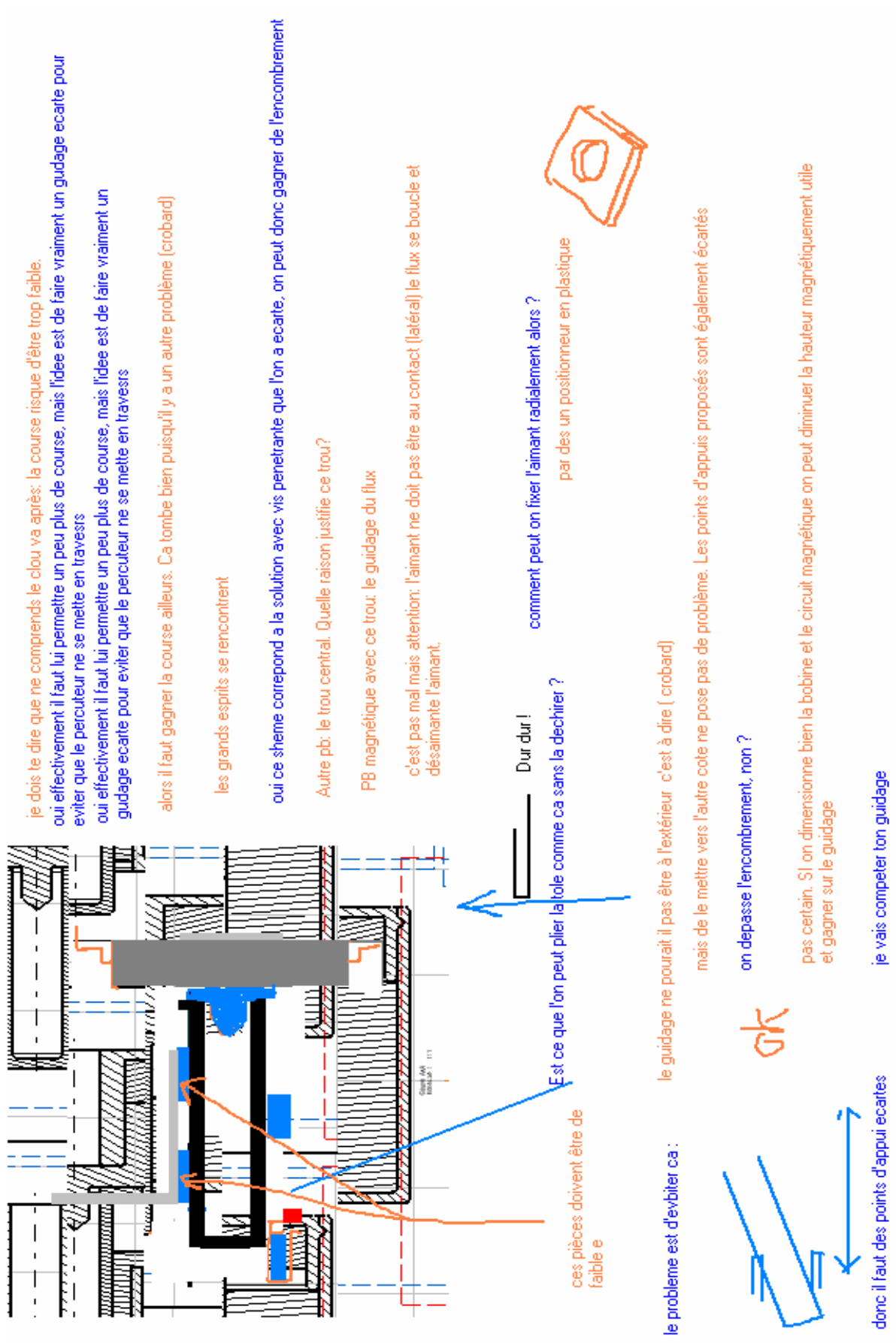



Figure 80 : Intégration des contraintes pluridisciplinaires

pièce différente usinée pour guidage de percuteur



cette idée pourrait être très bonne on élimine beaucoup d'entrefer.

quid d'une découpe circulaire dans une des faces du cube?  
Au lieu de deux encoches demi circulaire?

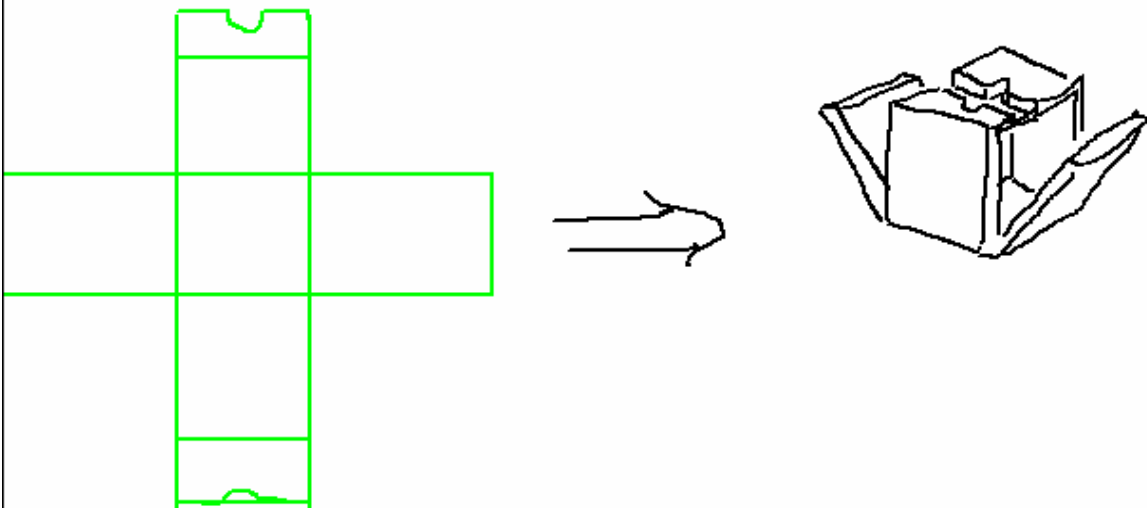
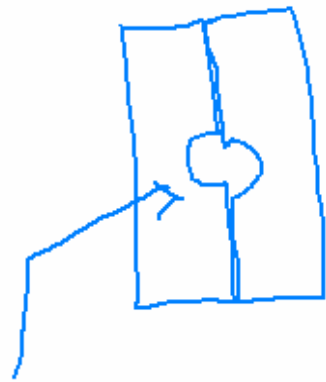
je pense que ça serait mieux en effet. Néanmoins ça ne règle pas le pb de la hauteur de guidage

la hauteur de guidage doit être importante?

oui car sinon on va avoir arc boutement (coincement)

d'accord, mais de combien?

sur la deuxième page, la longueur du palier te donnera un ordre de grandeur

on n'a pas un positionnement précis entre les deux parties, il faut faire un guidage supplémentaire

???

tu parles du positionnement des encoches? Lors de la découpe ou alors au moment du pliage?

au moment du pliage, on est pas sûr que les deux portions de cercle arrivent bien en face

de plus la hauteur de guidage va être insuffisante si l'épaisseur de la tôle est faible

Figure 81 : Annotation et objets intermédiaires pour la synchronisation cognitive



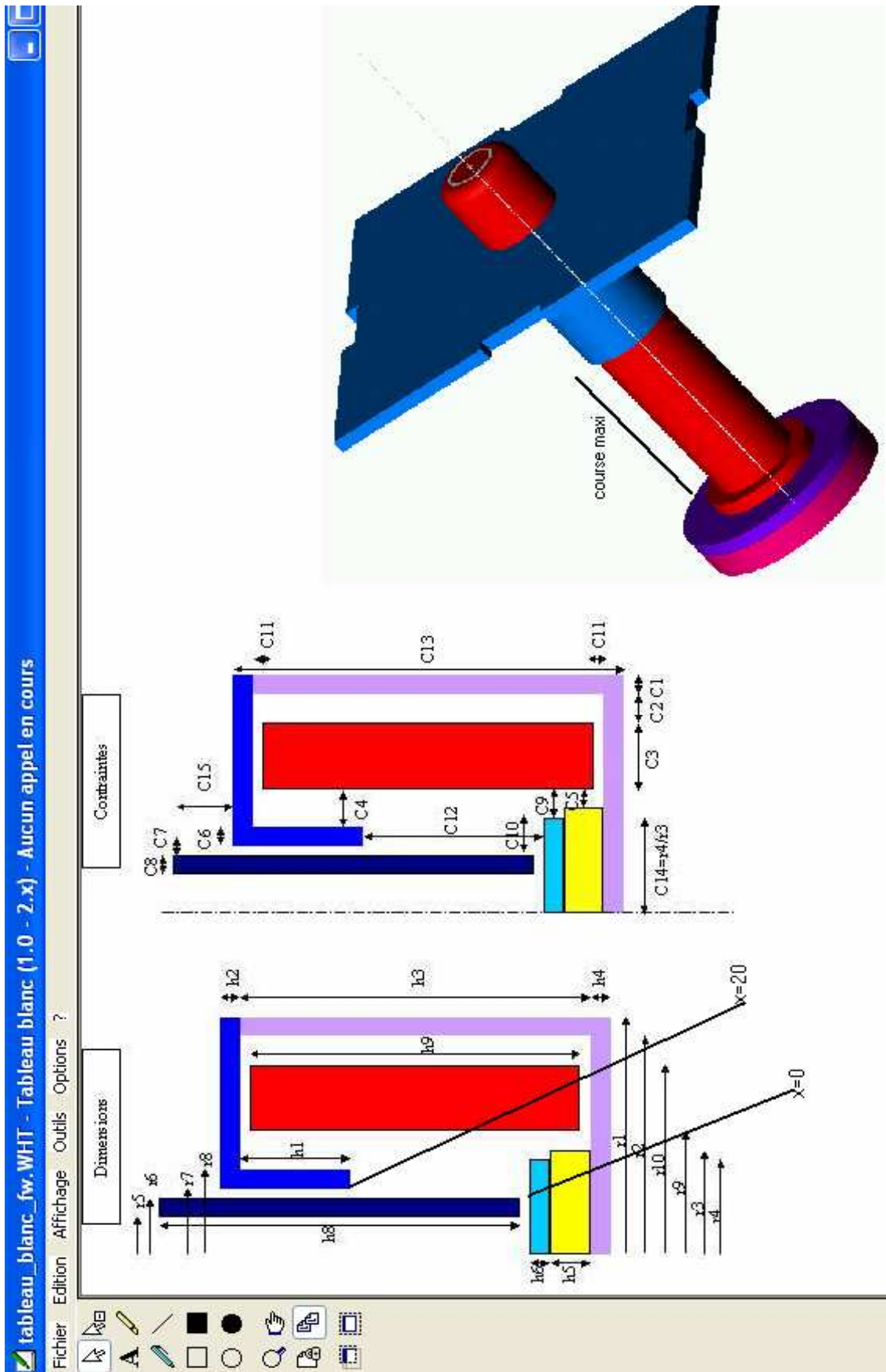


Figure 82 : Contraintes géométrique et représentation en 2D et en 3D du perceur

---

*REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

---

## ***BIBLIOGRAPHIE***

- [Ala03] **Allain L.**, "Capitalisation et traitement des modèles pour la conception en génie électrique", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble Grenoble, 2003.
- [Amm03] **Ammar I.**, "Identification des sources d'incertitude dans le processus de conception", mémoire de DEA de l'UFR sciences et techniques de Franche-comté, 2003.
- [Amm05-a] **Ammar I., Gerbaud L., Marin Ph. R., Wurtz F.**, "Co-sizing of an electromechanical device by using optimisation process". COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering., Vol. 24 No. 3, 2005, pp. 997-101
- [Amm05-b] **Ammar I., Wurtz F., Gerbaud L., Marin Ph. R., Prudhomme. G.**, "Conception collaborative en génie électrique : de l'expérimentation à la spécification des outils et méthodes", Electrotechnique du Futur, Grenoble, Septembre 2005
- [Amm06-a] **Ammar I., Gerbaud L., Wurtz F.**, "CoSTo : un outil d'aide au dimensionnement collaboratif des composants en génie électrique". IEEE, JTEA 2006 (Journées Tunisiennes d'Electrotechnique et d'Automatique), Hammamet 12-14 Mai 2006
- [Amm06-b] **Ammar I., Gerbaud L., Wurtz F.**, "Collaborative sizing of electromagnetic structure CoSTo: a Tool for Collaborative Sizing", OIPE 2006 (Optimization and Inverse Problems in Electromagnetics), Sorrento, Italy, 2006
- [Amm06-c] **Ammar I., Gerbaud L., Wurtz F.**, "A tool for the collaborative sizing of electrical device: CoSTo", IEEE, IECON 2006, Paris 2006.
- [Are] **<http://www.arelcom.com/>**
- [Ati03] **Atienza E.**, "Méthodologie et outils pour le dimensionnement", Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 2003
- [Bel00] **Belhabib B.**, "Méthodologie pour le développement de plateformes intégrées de conception en génie électrique", thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, génie électrique, 2000.
- [Bel02] **Belkadi F.**, "Analyse des processus de conception en vue de leur modélisation", mémoire de DEA de l'UFR sciences et techniques de

Franche-comté, 2002.

- [Bel05] **Belaidi A.**, "Contribution aux spécifications d'un environnement de conception collaborative des structures électromécaniques", Master 2 Recherche de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005.
- [Bou01] **Boujut, J-F**, " Des outils aux interfaces. Pour le développement de processus de conception coopératifs ", Thèse d'Habilitation à Diriger de Recherches de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2001
- [Bou02] **Boujut J-F, Laureillard P.**, " A co-operation framework for product-process integration in engineering design ", Design Studies, Vol. 23, No. 5, 2002, pp 497-513.
- [Bou03] **Boujut J.F., Blanco E.**, "Intermediary Objects as a Means to Foster Co-operation in Engineering Design – CSCW", The Journal of Collaborative Computing, Volume 12, Issue 2, 2003.
- [Bra89] **Brassard S.**, "Méthodologie et modélisation floues des connaissances dans l'activité de conception en électrotechnique", Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, génie électrique, 1989.
- [Bri96] **Brissaud D., Garro O.**, "An approach to Concurrent Engineering using distributed design methodology", Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol. 4, No. 3, 1996, pp 303-311.
- [Cas06] **Cassier J-L.**, "Etude comparative d'analyses de situations de conception collaborative", mémoire de Master 2 Recherche de l'Ecole Normale Supérieure, Lettres et Sciences Humaines de Lyon, 2006
- [Cen] <http://www.centra.com/>
- [Cha04] **Chandoul A.**, " Gestion des connaissances en conception, Application au dimensionnement en électrotechnique", Mémoire Master 2R de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, génie électrique, 2004
- [Cou99] **Coutel C.**, "Contribution méthodologique à la conception sous contraintes de dispositifs électromagnétiques", Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1999.
- [Cor] <http://www.corba.org/>
- [Cos] <http://www.cosmoce.prd.fr>
- [Dar04] **Darses, F.**, « Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique », Thèse d'Habilitation à Diriger de Recherches de l'Université Paris V - René

Descartes, France, 2004.

- [Del 02] **Delinchant B., Riboulet V., Grebaud L. Marin P., Noel F., Wurtz F.,** "E-Cooperative Design Among Mechanical and Electrical Engineers: Implications for Communication Between Professional Cultures", IEEE transactions on professional communication, Vol. 45, No. 4, December 2002
- [Del03] **Delinchant B.,** "Un environnement à base de composants, intégrant le concepteurs et ses outils, pour de nouvelles méthodes de CAO", thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, génie électrique, 2003.
- [Del06] **Delinchant B., Wurtz F., Gerbaud L., Du Peloux B., Estrabaut L.,**"A proposal of a norm for black box components dedicated to the design and optimization of engineering systems", à paraître : OIPE 2006, Septembre 2006, Sorrento, Italie.
- [Dem04] **Demni H-E.,** "Conception en Génie Electrique à l'aide d'éléments caractérisés", Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2004.
- [Det04] **Détienne, F., Boujut, J-F, Hohmann, B.,** « Characterization of collaborative design and interaction management activities in a distant engineering design situation » in Scenario-based design of collaborative systems, F. Darses, R. Dieng, C. Simone, M. Zacklad, (Eds), IOS Press, Amsterdam 2004, pp 83-98.
- [Dur06] **Duret D., Gerbaud L., Du Peloux B., Verdiere F., Rakotoarison H.L.,** "A generator of software components dedicated to the optimization of engineering systems", à paraître : OIPE 2006, Septembre 2006, Sorrento, Italie
- [Eyn99] **Eynard, B., Girard, P., Doumeingts, G.,** "Control of engineering process through integration of design activities and product knowledge", Integration of process Knowledge into Design Support, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-5655-1, 1999.
- [Fis04] **V. Fischer,** "Composants logiciels pour le dimensionnement en génie électrique. Application à la résolution d'équations différentielles", Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble 2004.
- [Flu] **[http ://www.cedrat.com/software/Flux/pdf/.ux.pdf](http://www.cedrat.com/software/Flux/pdf/.ux.pdf)**

- [Ger04] **Gerbaud L., Marin PH. R., Wurtz F.**, "*Cosizing of an electromechanical device by using optimisation process*. VIIIth International Workshop on Optimisation and inverse Problems in Electromagnetism", OIPE 2004, Grenoble, FRANCE, **2004**
- [Gow 03] **Gowers S.**, "*Développement d'un environnement de co-conception Distribuée basé sur une étude entre cultures professionnelles distinctes*".  
Projet de Fin d'Etudes Université de Bath – INP Grenoble, 2003.
- [Gru01] **Grundstein M. et Rosenthal-Sabroux C.**, "Vers un système d'information source de connaissances", chapitre 11, dans *Ingénierie des systèmes d'information*, Hermès Science Publications, Paris, 2001.
- [Gru03] **Grundstein M.**, "De la capitalisation des connaissances au management des connaissances dans l'entreprise, les fondamentaux du knowledge management" Int – Entreprises 3 jours pour faire le point sur le Knowledge Management, 2003
- [Hoh02] **Hohmann B.**, "*Etude empirique: Analyse d'une situation de conception cooperative médiatisée*". Mémoire de DEA d'Ergonomie, CNAM, Paris, 2002.
- [Jan98] **Jeantet A.**, " Les objets intermédiaires de la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception", *Sociologie du travail*, No. 3, 1998, 291-316.
- [Jav] **<http://www.java.sun.com/>**
- [Lar] **<http://www.larousse.fr/>**
- [Lau00] **Laureillard P.**, "Conception intégrée dans l'usage. Mise en oeuvre d'un dispositif d'intégration produit-process dans une filière de conception de pièces forgées ", Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, 2000.
- [Ler] **<http://www.learningspace.org/>**
- [Mag04] **Magot D.**, "Méthodes et outils logiciels d'aide au dimensionnement. Application aux composants magnétiques et aux filtres passifs", Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, 2004
- [Mar05] **Marin P-R., Noël F., Prudhomme G., Gerbaud L.**, "Mise en place d'une formation à l'ingénierie collaborative entre ENSHMG et ENSIEG", Actes du colloque national Priméca, La Plagne 2005

- [Mat] <http://www.mathcad.com/products/Mathcad.asp>
- [Msn] <http://www.messenger.msn.fr/>
- [NetB] <http://www.netbeans.org/>
- [NetM] <http://www.microsoft.com/windows/netmeeting/>
- [Non95] **Nonaka I., et Takeushi H.**, "The knowledge creating company : How Japanese Companies create the dynamics of innovation", Oxford University press, 1995
- [Pah96] **Pahl G., Beitz W.**, " Engineering Design: a systematic approach ", Springer-Verlag London LTD, London, 1996
- [Pro] <http://www.designprocessingtechnologies.com>
- [Pru00] **Prudhomme G.**, " Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement – La transposition didactique comme outil d’une analyse épistémologique ", Thèse de doctorat de l’Université Joseph Fourier, 1999.
- [Ren06] **Renaut J-C.**, "L'observation et l'analyse de situations de coconception a disatnce", mémoire de Master 2 Recherche de l ’Ecole Normale Supérieure, Lettres et Sciences Humaines de Lyon, 2006.
- [Rib01] **Riboulet V.**, "Co-Conception par Internet," Mémoire de DEA de l’Institut Polytechnique National de Grenoble, 2001.
- [Rib02] **Riboulet V., Delinchant B., Grebaud L. Marin P., Noel F.**, " Tools for dynamic sharing of collaborative design information", IDMME 2002.
- [Rib 04] **Riboulet V., Marin, P., Gowers, S., Wurtz, F.**, 2004, A Framework supporting collaborative optimisation for multi professional design teams, IDMME 2004, Bath, United Kingdom, April 5-7
- [Rou99] **Roucoules L.**, "Méthodes et connaissances: contribution au développement d'en environnement de conception intégrée", Thèse de doctorat de l’Institut Polytechnique National de Grenoble, génie mécanique, 1999.
- [Rui05] **Ruiz-Dominguez G-A.**, Caractérisation de l’activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive, Thèse de doctorat de l’Institut Polytechnique National de Grenoble, génie mécanique, 2005.
- [Sam] [www.ibm.com/lotus/sametime](http://www.ibm.com/lotus/sametime)
- [Sar00] **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.

[Szy 98] **Szypersky C.**, "Component Software Beyond Object Oriented Programming", Addison-Wesley, 1998.

[Tro99] **Troussier N.**, "Contribution à l'intégration du calcul mécanique dans la conception de produits techniques : proposition méthodologique pour l'utilisation et la réutilisation", thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier-Grenoble I, 1999.

[Vid] **[www.videographe.com/](http://www.videographe.com/)**

[Vis04] **Visser W.**, « Dynamic aspects of design cognition: Elements for a cognitive model of design », Rapport de recherche No. 5144, INRIA, France.

[Wur96] **Wurtz F.**, "Une nouvelle approche pour la conception sous contraintes de machines électriques", Thèse de doctorat de l'Institut Polytechnique National de Grenoble, 1996



---

## ***CONCEPTION COLLABORATIVE EN GENIE ELECTRIQUE***

**Résumé :** La conception des produits techniques requiert la participation de plusieurs experts de disciplines différentes et des compétences complémentaires. Le dimensionnement représente une phase importante de l'activité de conception en génie électrique. Il consiste à optimiser les caractéristiques géométriques et techniques du produit en fonction des contraintes définies dans le cahier des charges. La construction collaborative à distance d'un compromis acceptable par tous est une activité complexe qui nécessite la mise en place d'un processus de d'échange, d'argumentation et de négociation inter-métier. Dans le but d'assister les concepteurs durant cette activité complexe, nous proposons dans ce mémoire un environnement d'aide au dimensionnement collaboratif à distance : CoSTo (Collaborative Specification Tool). Il s'agit du résultat d'une démarche originale dans le domaine du génie électrique qui consiste à analyser les besoins des concepteurs dans des situations réelles de co-conception. CoSTo apporte par ses différentes fonctionnalités et la démarche d'optimisation globale qu'il instrumente une aide pour gérer et intégrer les interdépendances inter-métier

**Mots clés :** conception collaborative, travail via Internet, optimisation globale, Client-Serveur dimensionnement multidisciplinaire.

## ***COLLABORATIVE DESIGN IN ELECTRICAL ENGINEERING***

**Abstract :** This work deals with distributed and multi professional sizing process based on internet exchanges. The design of electromechanical system such a simple electromechanical device needs the collaboration of multi professional designers (mechanical, electrical, thermic...) They have different viewpoint about the device functionality. Designers have to confront their different viewpoint and resolve many problem before the obtainment of satisfying solution

A collaborative tool is proposed in order to support the collaborative sizing process. It integrate several functionality for help designers during all collaborative phases and to satisfy the recommendations formulated after the experiments analyse. The Collaborative Sizing Tool: CoSTo is obtained after an original strategy in electrical engineering : We have analysed all designers needs form a reel design activity in order to specify CoSTo functionalities. Clients can use collaborative information available on the server. They can also use the different functionality of CoSTo available to help them to detect common parameters and resolve their problem of conflicting specifications.

**Keywords :** Collaborative sizing, distributed work based on Internet exchanges, concurrent optimisation, Client –Server software, multi professional sizing.