



Conceptions de la conception pour le génie électrique : de l'approche " Objets -Savoirs - Méthodes - Outils " à l'approche " Systèmes - Connaissances - Compétences - Organisations

Frédéric Wurtz

► To cite this version:

Frédéric Wurtz. Conceptions de la conception pour le génie électrique : de l'approche " Objets -Savoirs - Méthodes - Outils " à l'approche " Systèmes - Connaissances - Compétences - Organisations. Energie électrique. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2008. <tel-00728244>

HAL Id: tel-00728244

<https://theses.hal.science/tel-00728244v1>

Submitted on 5 Sep 2012

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.



HAL Authorization

Habilitation à Diriger les recherches présentée par

F. WURTZ

Ingénieur ENSIEG – Docteur INPG

Pour obtenir le diplôme d’Habilitation à Diriger des Recherches de l’Institut National
Polytechnique de Grenoble

Conceptions de la conception pour le génie électrique :

de l’approche
« **Objets – Savoirs – Méthodes – Outils** »
à l’approche
« **Systèmes – Connaissances – Compétences -
Organisations** »

Date : 3 Avril 2008

Jury

Président :

M. Jufer Marcel – Professeur – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Rapporteurs :

M. Allano Sylvain - Professeur- Ecole Nationale Supérieure de Cachan

M. Nicolas Laurent – Directeur de Recherches au CNRS

M. Roudet James – Professeur – Université Joseph Fourier – Grenoble

Invités :

M. Brissaud Daniel – Professeur – Institut National Polytechnique de Grenoble

M. Brunotte Xavier –Groupe CEDRAT

M. Gardic Pierre-André –SOMFY

M. Hatchuel Armand – Professeur- Ecole des Mines de Paris

Abstract

Les recherches présentées dans ce manuscrit ont comme objet d'étude la conception, et plus particulièrement la conception en ingénierie électrique. Cette activité de recherche a connu un essor important ces dernières décennies. Elle s'est traduite par un développement scientifique de Méthodes et d'Outils logiciels : typiquement les outils d'optimisation automatique ou les systèmes experts.

La première partie du manuscrit présente des travaux qui s'inscrivent directement dans cette tradition. Il s'agit plus particulièrement de travaux autour de Méthodes et d'Outils pour instrumenter les phases de dimensionnement et d'études de faisabilité de composants et de systèmes d'ingénierie. Les Savoirs utiles pour ces phases sont des modèles multi-physiques de type analytique ou semi analytique, dont des exemples sont des schémas électriques équivalents. C'est pourquoi ont été développées, autour de ces types de savoir :

- des méthodes de programmation automatique,
- des méthodes de dérivation formelle pour des couplages avec des algorithmes d'optimisation
- différentes générations de plates-formes logicielles dont la dernière intitulée CADES, qui en plus d'être un outil de capitalisation des méthodes précédentes, explore un paradigme nouveau d'architecture logicielle : le framework basé sur le concept de composant logiciel. Ce paradigme offre des propriétés d'inter-opérabilité et de modularité. Il peut ainsi apporter une solution aux problématiques de conception multi-physiques, multi-niveaux de modélisation, et de passage du composant au système.

La deuxième partie du manuscrit présente cependant la thèse d'une crise, d'une approche de la conception, comme elle serait trop souvent abordée scientifiquement en ingénierie, à savoir une discipline de physique appliquée ne s'intéressant qu'aux Objets, Savoirs, Méthodes et Outils, et visant un idéal de rationalisation et d'automatisation. Il est montré que d'autres conceptions de la conception sont possibles. Elles se placent dans un cadre épistémologique avec des hypothèses qui font de la conception une activité complexe ne pouvant émerger que dans des systèmes intégrant les concepteurs/modélisateurs. Ces derniers y sont porteurs de ressources comme l'intuition, la maturation, les connaissances tacites, ... Cette argumentation servira de base pour montrer la nécessité de s'intéresser, aussi !!!, à des objets d'études que sont d'une part les Connaissances/Compétences portées par les concepteurs et d'autre part les Systèmes/Organisations permettant de les coordonner. Ceci permettra de légitimer les fondements de travaux passés, en cours (des plates-formes Internet de travail collaboratif autour des méthodes et outils, pour la capitalisation et l'échange de modèles, ...) et à venir (conception innovante, conception par l'usage, ...)

Ces recherches sont ainsi une contribution à des questions scientifiques du type :

- *Comment caractériser la nature de la conception : quelles sont des conceptions possibles de la conception ?*
- *La conception est-elle à terme entièrement rationalisable et automatisable, ou cette perspective est-elle un rêve naïf voire dangereux ?*
- *Quelles approches de la conception développer, et à quels objets d'études faut-il s'intéresser pour développer une science de la conception dans un domaine tel que l'ingénierie électrique, amené à concevoir et à innover dans des applications clefs tels que la production, la distribution et la gestion de l'énergie, le bio-médical, ...*

Mots clefs : conception, optimisation, systèmes experts, savoirs, méthodes, outils logiciels, connaissances, compétences, organisation, ingénierie de la connaissance, génie électrique.

Remerciements

Impossible ici de citer ici toutes les personnes que je dois remercier à juste titre : je vais simplement et sincèrement commencer à remercier toutes les personnes dont le nom est cité dans ce rapport et que j'ai donc côtoyées à un moment ou à un autre au cours de mon parcours de recherche. Entre facilités et difficultés, joies et frustrations, que nous auront connues ensembles, elles auront toutes contribué à construire ce qui a été construit : la satisfaction d'un parcours réalisé, et un grand merci pour cela.

Je voudrai néanmoins remercier explicitement les membres de Mon Jury . Sylvain Allano, Laurent Nicolas et James Roudet pour avoir rapporté et soutenu mon travail. Daniel Brissaud, Xavier Brunotte, Pierre-André Gardic et Armand Hatchuel pour avoir participé et animé le débat au cours du jury.

Je voudrai aussi remercier explicitement Laurent Gerbaud et Benoit Delinchant, grâce à la complicité professionnelle et amicale le projet a pu se développer sur ces dernières années.

Et un grand merci enfin à ma famille, mon épouse et mes parents qui m'ont toujours aidé et soutenu.

Table des matières

Introduction générale	9
Comment lire ce manuscrit	9
Résumé introductif du chapitre I.....	10
I La conception en génie électrique : enjeux et approches.....	11
I.a Développement d'une discipline transversale de la conception par et pour le génie électrique.....	11
I.b Les enjeux d'une science de la conception pour le Génie Electrique	11
I.b.1 La conception des composants.....	11
I.b.2 La conception des systèmes.....	12
I.b.3 Concevoir des composants et des systèmes pour des enjeux sociétaux clefs.....	14
I.b.4 Science de la conception et enjeux de conception pour le génie électrique	14
I.c La vision classique de la conception en génie électrique: une approche « Objets – Savoirs – Méthodes - Outils » (OSMO).....	14
I.c.1 L'aspect objet.....	15
I.c.2 L'aspect savoir	15
I.c.3 L'aspect méthode	16
Pour la résolution du problème direct	16
Définition du problème direct	16
Méthodes pour résoudre le problème direct	16
Pour la résolution du problème inverse	16
Définition du problème inverse.....	16
Méthodes pour résoudre le problème inverse.....	16
I.c.4 L'aspect outils.....	17
I.c.5 L'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » : une approche classique, rationnelle et prescriptive de la conception pour le génie électrique	17
I.c.5.a OSMO : Une approche classique pour la résolution du problème direct de calcul et de simulation	17
I.c.5.b OSMO : Une approche classique pour la conception en Génie Electrique	19
L'approche optimisation	19
L'approche intelligence artificielle	20
Résumé introductif du chapitre II	22
II. Travaux dans le cadre de l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes - Outils » : des méthodes et plates-formes logicielles pour le dimensionnement des composants et systèmes.....	23
II.a Besoin, contexte positionnement	23
II.a.1 Le besoin : des méthodes et outils pour le dimensionnement optimal et les études de faisabilité	23
II.a.2 L'importance fondamentale des phases de pré-dimensionnement et d'études de faisabilité dans le processus de conception.....	23
II.a.3 Positionnement dans le cadre OSMO	23
II.b Des plates-formes logicielles pour le dimensionnement et les études de faisabilité.....	23
II.b.1 Une ambition initiale : rendre accessible les approches d'optimisation aux concepteurs non informaticiens du génie électrique	23
II.b.2 PASCOSMA : une première plate-forme pour le dimensionnement et les études de faisabilité	24
II.b.2.a D'une approche initiale : PASCOSMA	24
L'approche PASCOSMA.....	24
Le générateur PASCOSMA	24
Les applications PASCOSMA	26
II.b.2.b Les apports de l'approche PASCOSMA	28
II.b.2.b Les limites de l'approche PASCOSMA	31
II.b.2.c Les recherches initiées grâce à l'approche PASCOSMA	31
La dérivation formellement exacte des modèles	31
Une recherche sur les méthodes d'aide à la création de modèles semi-analytiques pour le dimensionnement	36
Une recherche sur les architectures d'outils et de plates-formes.....	38
II.b.3 Vers une approche de plate-forme à base de composants logiciels	39
II.b.3.a Structuration de la dernière génération de plate-forme proposée –CADES : un framework générateurs – composants logiciels – services	39
II.b.3.b Un framework s'appuyant sur le concept de composants logiciels	40
Définition du concept de composant logiciel.....	40
Des composants logiciels pour contenir les modèles des composants et des systèmes du génie électriques	41

D'autres utilisations du concept de composant logiciel	42
II.b.3.c Les générateurs de composants logiciels du framework	43
Générateurs pour modèles analytiques	43
Générateurs pour circuits électriques passifs	44
Générateurs à base de réseaux de réductances	45
Générateurs à base d'approches par moments dipolaires	46
II.b.3.c Les services utilisateurs de composants logiciels du framework	46
Le service de calcul	46
Le service d'optimisation	47
Le service de composition	48
II.b.3.d Quelques concepts utiles autour des composants et des frameworks	49
Le concept d'encapsulation	50
Le concept de connexion de type « plug'in »	50
II.b.3.e Synthèse des apports des framework à base de composants logiciels	51
Un aperçu de l'utilisation globale du framework	51
II.b.3.f Synthèse des apports, enjeux, perspectives et aspects innovants d'une recherche sur des framework à base de composants logiciels	52
Le résultat idéal final que l'on peut atteindre	52
L'originalité	53
Les verrous à faire sauter :	54
Les perspectives et enjeux de recherches à court et moyens terme	54
Des enjeux scientifiques à mesurer	55
Les perspectives finales	55
Le framework : un nouveau paradigme face au paradigme classique d'environnement	55
Les perspectives de nouvelles applications pour les frameworks	56
Cohérence avec les objectifs initiaux des recherches	56
II.b.4 Apports méthodologiques & applications des travaux sur les plates-formes logicielles pour la conception en Génie Electrique	56
II.b.4.a Méthodologies et outils pour optimiser les structures	56
II.b.4.b Evaluer le potentiel d'une structure	58
II.b.4.c Comparer les structures	59
II.b.4.d Dimensionnement et optimisation dans le cadre d'une vision système	60
II.b.4.e Tolérancement et conception robuste	60
II.b.4.f Comparaison de stratégies d'optimisation	61
II.b.4.g Applications	61
II.b.4.g Perspective au niveau des applications	63
Le dimensionnement des grands systèmes énergétiques	63
L'éco-conception	63
Résumé introductif du chapitre III	64
III La crise de la conception vue par la seule approche « objets – savoirs – méthodes – outils » (OSMO)	65
III.a Les symptômes de la crise de l'approche « objets – savoirs – méthodes – outils »	65
III.a.1 Crise de l'approche pour l'activité de conception – résolution du problème inverse	65
III.a.2 Crise de l'approche pour l'activité de simulation – résolution du problème direct	65
III.a.3 Crise de l'approche pour l'activité gestion des savoirs	66
III.b Les raisons de la crise de l'approche « objets – savoirs – méthodes – outils » (OSMO)	66
III.a.1 La raison fondamentale : une non-prise en compte de l'acteur humain	66
III.b.2 Les raisons d'une non-prise en compte de l'acteur humain dans le cadre de l'approche OSMO : des fondements épistémologiques excluant l'acteur humain	67
III.b.2.a Caractérisation de l'épistémologie et des épistémologies	67
III.b.2.b Les fondements d'une application stricte de l'approche OSMO : l'épistémologie classique naïve	68
III.b.2.c L'approche OSMO dans le cas de la simulation	70
III.b.2.d L'approche OSMO dans le cas de la conception	72
Théorie de la décision et SIP : les deux théories de la conception compatibles avec l'approche OSMO	72
III.b.2.e L'approche OSMO dans le cas de la gestion des connaissances	74
III.b.2.f Conclusion sur les fondements d'une application stricte de l'approche OSMO : une exclusion de l'acteur humain justifiée par l'épistémologie classique naïve	74
III.b.2.g La crise des épistémologies classiques excluant les acteurs humains	75
• La crise des épistémologies classiques dans les sciences en général	75

• La crise de l'épistémologie classique naïve pour l'étude de la conception en particulier	78
III.c Comment surmonter la crise de l'approche OSMO	80
III.c.1 Intégration de l'acteur humain.....	80
III.c.2 Utilisation de nouveaux cadres épistémologiques	80
III.c.3 Le renoncement à une perspective d'automatisation de la conception.....	80
III.c.4 Pour aller vers de réelles perspectives d'une vision complète de la conception : de l'innovation à la simulation, en passant par le dimensionnement et la gestion des connaissances	80
Résumé introductif du chapitre IV	82
Partie IV: Nouvelles conceptions de la conception pour le Génie électrique: vers l'approche « Systèmes - Connaissances - Compétences - Organisations » (SCCO)	83
IV.a La nécessité d'un nouveau cadre épistémologie pour une discipline de la conception intégrant l'acteur humain.....	83
IV.a.1 La nécessité d'un nouveaux cadre épistémologique en réaction à la crise de l'épistémologie classique et pour fonder une discipline de la conception.....	83
IV.a.2 Caractérisation d'un nouveau cadre épistémologique possible: le constructivisme.....	83
IV.a.3 En bref, la principale caractéristique du cadre alternatif constructiviste proposé : l'incontournable intégration des Concepteurs/Modélisateurs.....	86
IV.a.4 Positionnement relatif des cadres épistémologiques constructivistes et classiques.....	86
IV.a.5 Intérêt d'un cadre constructiviste alternatif pour les sciences de la conception	87
IV.b Conception et dimensionnement dans le cadre de l'épistémologie alternative: vers l'approche « Systèmes - Connaissances - Compétences - Organisations »	88
IV.b.1 De nouvelles conceptions pour la conception légitimes : les approches I-D, C-K, COG, S-C, ...	88
IV.b.1 Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions de la conception... 92	
Des concepts nécessitant la présence du concepteur modélisateur : l'exemple du concept de « Satisficing »	92
Des concepts permettant d'identifier les propriétés complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs	94
Des concepts permettant de caractériser des activité complexes et compliquées en conception.....	105
Intérêt et effectivité de distinguer les activités complexes des activités compliquées.....	108
IV.b.2 De nouvelles conceptions pour la gestion des connaissances légitimes dans le cadre constructiviste : la séparation : connaissances explicites et tacites, séparation des notions de savoir et de connaissances, ...	109
IV.b.2.a Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions pour l'ingénierie de la connaissance.....	112
Des concepts nécessitant la présence des concepteurs/modélisateurs	112
IV.b.3 Vers l'approche « Systèmes – Connaissances – Compétences – Organisations » (SCCO)	115
IV.b.3.a Les nouveaux objets d'études pour la conception proposés par l'approche SCCO	115
Les Systèmes intégrant les acteurs humains.....	115
Les Connaissances portées par les acteurs humains	116
Les Compétences portées par les acteurs humains	116
Les Organisations qui permettent aux acteurs humains de collaborer.....	116
IV.b.3.b Une approche SCCO complémentaire de l'approche OSMO.....	117
IV.b.3.c Des problèmes dont l'étude est rendue possible dans l'approche SCCO	118
IV.b.3.c De nouvelles méthodologies pour l'étude de la conception rendue possibles dans l'approche SCCO	118
IV.b.3.e Conclusion, ou comment l'approche SCCO peut-elle être une alternative pour surmonter la crise de l'approche OSMO	119
Résumé introductif du chapitre V	120
V. Travaux dans le cadre de l'approche « Systèmes – Connaissances – Compétences- Organisations » (SCCO): de nouvelles conceptions de la conception pour le génie électrique	121
V.a Démarche et stratégies des travaux dans le cadre de l'approche SCCO.....	121
V.a.1 Une démarche intra et interdisciplinaire.....	121
V.a.2 Une démarche d'observateur acteur	122
V.b Une relecture des travaux menés sur les méthodes, outils et plates-formes de dimensionnement dans le cadre SCCO: re-légitimation, relecture, nouvelles perspectives	123
V.b.1 Re-légitimation de travaux menés dans le cadre de l'approche SCCO : re-légitimation de l'utilisation des approches analytiques et des algorithmes d'optimisation de type gradient	123
V.b.2 Perspectives nouvelles autour des frameworks, plates-formes et outils pour le dimensionnement dans le cadre SCCO.....	130

V.b.2.a Etudier, comprendre, susciter la synergie entre les méthodes et outils logiciels (point de vue OSMO) et les connaissances et compétences (point de vue SCCO).....	130
V.b.2.b Etudier, comprendre, susciter la synergie entre les nouvelles architectures et frameworks utilisant des composants logiciels et les organisations et communautés.....	131
V.b.2.c Etudier, comprendre, susciter les organisations et communautés pour l'ingénierie de la connaissance : capitalisation et échanges de modèles.....	134
V.c Travaux en rupture et possibles uniquement dans un cadre SCCO	138
V.c.1 Travaux sur la conception collaborative.....	138
V.d Nouvelles perspectives de recherches à développer dans le cadre SCCO.....	141
V.d.1 Passer de l'innovation formelle à l'innovation de rupture.....	141
V.d.2 Recherche sur les méthodes de conception par l'usage.....	145
V.d.3 Des approches intégrant les ressources apportées par les acteurs humains pour répondre aux enjeux du génie électrique	146
Conclusion générale	147
Perspectives (sous forme d'une feuille de route possible)	149
Glossaire et Signification des Acronymes	151
Production scientifique	157
Revues à comité de lecture	157
Actes de conférences à comité de lecture et proceedings	158
Chapitres d'ouvrages publiés	163
Participation à des séminaires- et workshop	164
DEA	164
THESE	164
Logiciels	164
BREVET	165
Travaux de thèses encadrés.....	166
Encadrement de travaux de thèse.....	166
Encadrement de travaux post Doctorants.....	172
Encadrement de travaux de DEA et de Masters	172
Bibliographie.....	175
Enseignement.....	182
Encadrement, animation et management de la recherche	184
Animation de programmes ou projets	184
Transfert technologique, relations industrielles et valorisation.....	187
Contrats&Projets.....	187
Projet de création d'entreprise	189
- Valorisation	189
Brevet.....	189
Développement de logiciels	189

Préambule

Ce manuscrit est la trop petite souris dont une montagne d'heures de travail a accouché.

Un accouchement, qui comme il se doit, a oscillé entre excitation intense et douleurs profondes, avec à terme, le sentiment d'un ouvrage inachevé, imparfait, empreint de toute la frustration de n'avoir pas réussi à énoncer de manière claire, concise et compatible avec le format de l'exercice tout ce qu'il me semble avoir compris, noté, entrevu...

Ceci résulte du fait que ce manuscrit est une tentative de synthèse :

- d'un travail d'expert, réalisant et dirigeant des travaux, dans un cadre bien formalisé : les méthodes et outils pour le dimensionnement en génie électrique au sein d'une équipe, d'un laboratoire, et d'une communauté nationale et internationale structurée, riche scientifiquement et humainement, et pour lequel j'espère avoir alimenté la réflexion et le débat scientifique

- d'un travail souvent solitaire, mais aussi accompagné par quelques chercheurs (merci Laurent, Benoît, Imen, ...), hors de ces sentiers balisés et rassurants de l'activité précédente pour côtoyer des chercheurs et des auteurs dans des disciplines a priori tout à fait incongrues telles que les sciences cognitives, l'épistémologie, la psychologie, les sciences des organisations, ... Ce travail a été motivé par le sentiment que cela était nécessaire. Mon périple n'a fait que renforcer la pertinence de cette intuition.

Vient à présent le temps d'une tentative de rationalisation et d'argumentation de cette démarche interdisciplinaire, avec tous les questionnements et les incertitudes qu'elle met en lumière :

- vais-je être suffisamment clair et concis envers mes pairs, point d'autant plus crucial, que je prétends avoir identifié des aspects fondamentaux des démarches habituelles à remettre en cause ?

- vais-je donner suffisamment d'informations pour que les lecteurs de ce manuscrit, dont je souhaite qu'il fasse partie de toutes les communautés dont je m'inspire, arrivent à prendre prise sur les éléments que je livre et qui ne font pas partie de leur communauté d'origine ?

- vais-je réussir à montrer comment ces 2 activités se sont mutuellement enrichies et m'ont donné des lignes directrices pour mon travail de chercheur et d'encadrant chercheur ?

- à aller explorer des domaines qui ne sont pas les miens, n'ai-je pas trahi la pensée, les idées des chercheurs des autres domaines en les ayant mal compris ?

- dans la multitude des auteurs, des concepts, ai-je retenu les plus pertinents pour la clarté et la cohérence de mon propos ?

- ai-je dans ce cheminement interdisciplinaire dérapé, glissé pour tomber dans l'onirisme et la superficialité

- ...

En bref, au moment de sauter dans le vide, ces questions et l'incertitude viennent cycliquement se dissiper pour mieux revenir me tarauder ...

En tout cas, l'honnête homme que je crois être, implore votre mansuétude pour ces potentielles maladresses et espère avant tout que ce manuscrit, pour lequel j'ai définitivement renoncé à l'idée qu'il soit une fin, sera une amorce pour des discussions et des polémiques (au sens noble du terme), dans le génie électrique et entre toutes les disciplines effleurées, pour une approche globale de la conception en général, et pour le génie électrique en particulier.

Introduction générale

Ce manuscrit se présente en 5 chapitres.

Chaque chapitre comporte un résumé introductif et développe respectivement les points suivants :

- Le chapitre I fait une introduction sur les enjeux et les approches de la conception en génie électrique.
- Le chapitre II présente la partie des travaux que nous avons réalisée dans le cadre d'une approche classique de la conception s'intéressant aux objets, aux savoirs, aux méthodes et aux outils.
- Le chapitre III développe la thèse d'une crise d'une discipline de la conception qui ne s'intéressait uniquement qu'aux objets, aux savoirs, aux méthodes et aux outils.
- Le chapitre IV argumente que d'autres approches de la conception sont possibles pour le génie électrique. Il en résulte qu'une discipline de la conception doit aussi s'intéresser à des objets tels que les systèmes, les connaissances, les compétences et les organisations : des objets qui ont en en comme d'être portés ou de mettre en relation des concepteurs/modélisateurs.
- Le chapitre V présente les travaux déjà réalisés ou à venir qui s'inscrivent dans ces nouvelles perspectives de la conception invitant à s'intéresser aux systèmes, connaissances, compétences et organisation intégrant les concepteurs/modélisateurs.

Comment lire ce manuscrit

La plupart des chapitres comportent 3 niveaux de lecture

- un résumé introductif et synthétique de chaque partie
- un argumentaire principal,
- des argumentations secondaires approfondissant des points qui ne sont que survolés dans l'argumentaire principal. Ces argumentations sont souvent mises dans des tableaux.

On trouvera aussi en fin de manuscrit un glossaire, détaillant les concepts clefs.

Ce manuscrit détaille enfin tous les éléments factuels qui ont permis de construire le travail de recherche exposé ; les revues & actes de conférences publiée, les travaux encadrés, les logiciels réalisés, ...

Résumé introductif du chapitre I

L'ambition du travail de recherche présenté est de contribuer à l'amélioration du processus de conception dans le cadre particulier de l'ingénierie en génie électrique.

C'est pourquoi **le chapitre I** va commencer par définir les enjeux auxquels la conception en génie électrique est confrontée :

- il s'agit de concevoir des composants comme des moteurs et des actionneurs, jusqu'à des systèmes extrêmement élaborés comme un réseau de bord d'automobile ou d'avion,
- de plus, ces composants et systèmes sont au cœur des solutions d'ingénierie qui doivent nous permettre de relever des défis sociétaux majeurs et mondiaux qui seront à résoudre dans les toutes prochaines années comme, par exemple, la distribution et la transformation de l'énergie ou encore le biomédical.

Ce premier chapitre va se terminer par une proposition de caractérisation de la vision avec laquelle la conception est « classiquement » abordée en génie électrique : il s'agit d'une approche :

- visant à concevoir les **Objets**, que sont les composants et les systèmes,
- en utilisant des **Savoirs** de modélisation physique comme les principes, théories, et modèles de l'électromagnétisme, de la mécanique, ...
- qui sont eux-mêmes utilisés par des **Méthodes** comme typiquement les méthodes de simulation et d'optimisation,
- le tout devant finir par être implanté dans des **Outils** logiciels, comme des optimiseurs, voire des systèmes experts.

C'est l'approche que nous appellerons « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils », que nous désignerons par l'acronyme OSMO.

I La conception en génie électrique : enjeux et approches

I.a Développement d'une discipline transversale de la conception par et pour le génie électrique

L'ambition des recherches que je mène est de développer un axe transversal « conception » en Génie Electrique. Ceci s'est concrétisé en grande partie par la formalisation de méthodes et la réalisation d'outils logiciels se présentant sous la forme de plates formes logicielles.

Cette recherche est faite « pour » le génie électrique, dans le sens où ces recherches se sont développées pour concevoir des composants et des systèmes du génie électrique : moteurs, actionneurs, micro-systèmes magnétiques, réseaux de bords d'automobile, d'avions, ...

I.b Les enjeux d'une science de la conception pour le Génie Electrique

I.b.1 La conception des composants

Le génie électrique a pour objet de s'intéresser à la conception de composants dont un échantillon est donné sur la figure I.1

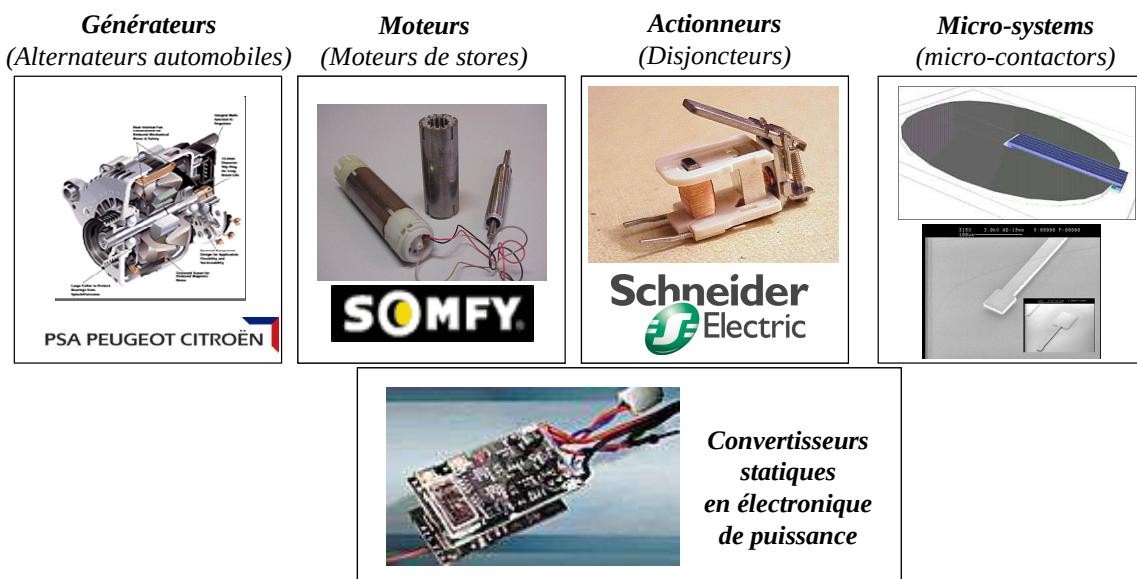


Fig. I.1: Quelques composants et applications en génie électrique

Ces composants peuvent avoir comme caractéristiques :

- d'être produits en très grande série, à l'image des alternateurs pour automobile, des moteurs pour stores et des actionneurs pour disjoncteur, où chaque composant peut être produit en des millions d'unités par an. D'où le besoin d'une conception soignée en matière de coût, car chaque gain compte, au vu des volumes et au vu d'une compétition exacerbée avec une concurrence à présent mondialisée,
- d'être des produits intervenant dans la sécurité des biens et des personnes, à l'image des disjoncteurs, ce qui exige une conception, puis une production tout à fait maîtrisée,

- d'être des produits très innovants comme les micro-systèmes, pour lequel tout reste à créer : les dispositifs, les applications, ...
-

Dans tous les cas, la conception de ces composants exige de maîtriser le processus de conception, avec en plus une dimension multi-physiques : ces composants font intervenir simultanément des phénomènes électromagnétiques, thermiques, mécaniques, hydrauliques, aérauliques, ...

Tous ces composants sont enfin des composants clefs dans notre environnement, car ils sont au coeur des processus de traitement et de transformation de l'énergie :

- transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique pour les moteurs,
- transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique pour les alternateurs,
- mise en forme de l'énergie électrique pour les téléphones portables, les ordinateurs pour les convertisseurs statiques d'électronique de puissance.

I.b.2 La conception des systèmes

Le génie électrique s'intéresse aussi aux systèmes dans lesquels ces composants sont utilisés afin de faire le transport ou la transformation de l'énergie.

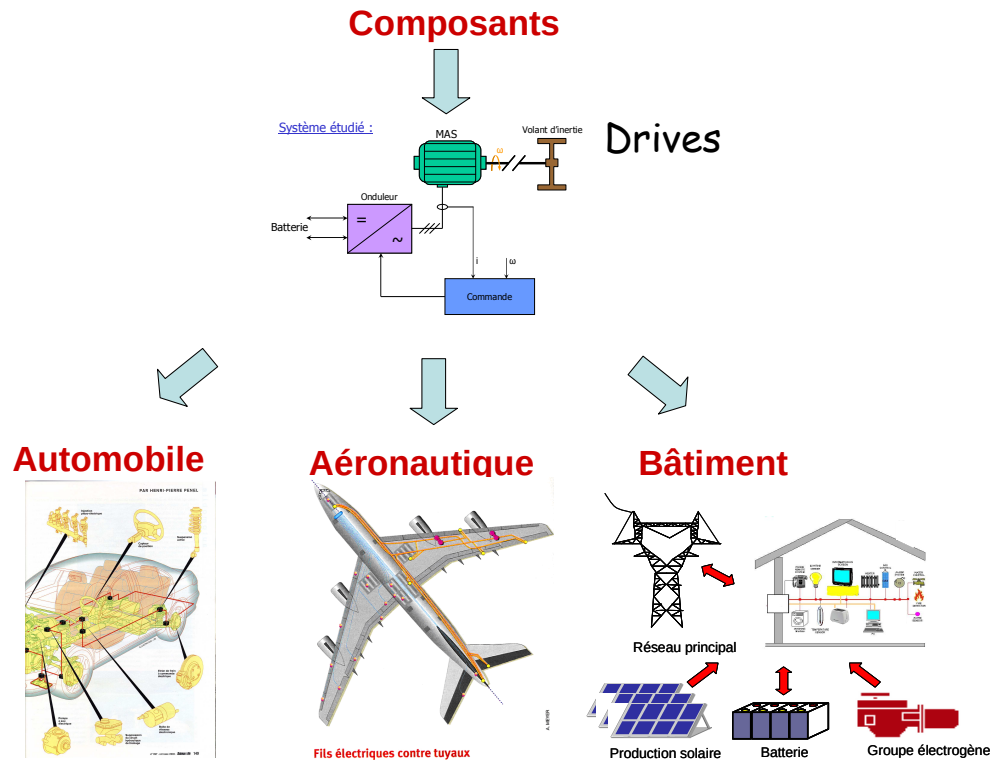
La figure I.2° donne un aperçu des systèmes considérés :

- cela commence par ce qu'on appelle des structures « convertisseurs – commandes - machines », systèmes dans lequel on associe une électronique de puissance, un actionneur électromécanique, pour lequel on définit une loi de commande,
- les composants et ces structures « convertisseurs – commandes - machines » servent de briques de base à des systèmes complets, que sont les systèmes embarqués, comme les systèmes automobiles ou aéronautiques. Il s'agit aussi de systèmes non embarqués, comme le bâtiment. Tous ces systèmes sont appelés à être repensés, à être améliorés et à faire l'objet d'innovations radicales, tant la question énergétique devient centrale. C'est dans ce but que de plus en plus d'actionneurs électriques sont intégrés dans les automobiles y compris pour la partie traction (motorisation électrique, hybride, moteurs thermiques piloté électroniquement, ...). L'aéronautique lance de vastes programmes pour substituer à ces actionneurs hydrauliques, des actionneurs électriques, qui ont pour mission de fournir les mêmes puissances massiques, avec un poids plus faible qui pourrait être obtenu par suppression de la lourde tuyauterie hydraulique. Le bâtiment devient un enjeu clef, car c'est le secteur devant le transport, qui consomme le plus d'énergie et produit le plus de gaz à effet de serre. L'enjeu est de faire du bâtiment un système, avec de plus en plus de composants (panneaux photovoltaïques, chaudière à co-génération, actionneurs pour ouvrir et fermer les volets en fonction de l'ensoleillement, pompe à chaleur, ...), pour en optimiser la consommation. L'enjeu est même d'aller vers le bâtiment à énergie positive : un bâtiment capable, en profitant de son volume et de sa surface, de récupérer un maximum d'énergie, pour assurer ses propres besoins, voir revendre de l'énergie au réseau.
- le génie électrique s'intéresse aussi à la conception du macro système de distribution d'énergie, qui a vocation à alimenter une bonne partie des systèmes précédents. Ce système doit à chaque instant produire exactement l'énergie électrique consommée, à l'échelle d'un pays, voir d'un continent comme l'Europe ou tous les réseaux sont interconnectés. Réaliser cette prouesse va devenir de plus en plus complexe dans un contexte de dérégulation du marché de l'énergie, avec de plus en plus d'intervenants producteurs et distributeurs d'énergie, et avec une contrainte de valorisation de source d'énergie renouvelable très diverses (éolien, hydraulique, photovoltaïque, ...).

Nous pourrions encore parler des systèmes intégrés, ayant vocation à incorporer sur une puce de silicium une chaîne de conversion d'énergie et un micro-actionneur. Nous pourrions aussi parler des microsystèmes devant réaliser une mini chaîne de conversion

d'énergie pour des applications transportable : typiquement partir d'une mini réserve d'hydrocarbure, ou de gaz pour produire de l'énergie électrique. Nous pourrions enfin parler des applications biomédicales, qui vont des micro-systèmes utilisant des phénomènes électromagnétiques pour faire du tri de cellules, aux systèmes à résonance magnétique nucléaire utilisant des champs magnétiques intenses.

En bref les systèmes ont des tailles qui vont du nanomètre à l'échelle d'un continent, et concernent des applications qui vont de la distribution de l'énergie, au transport, à l'habitat et à la santé.



Réseaux de distribution d'énergie

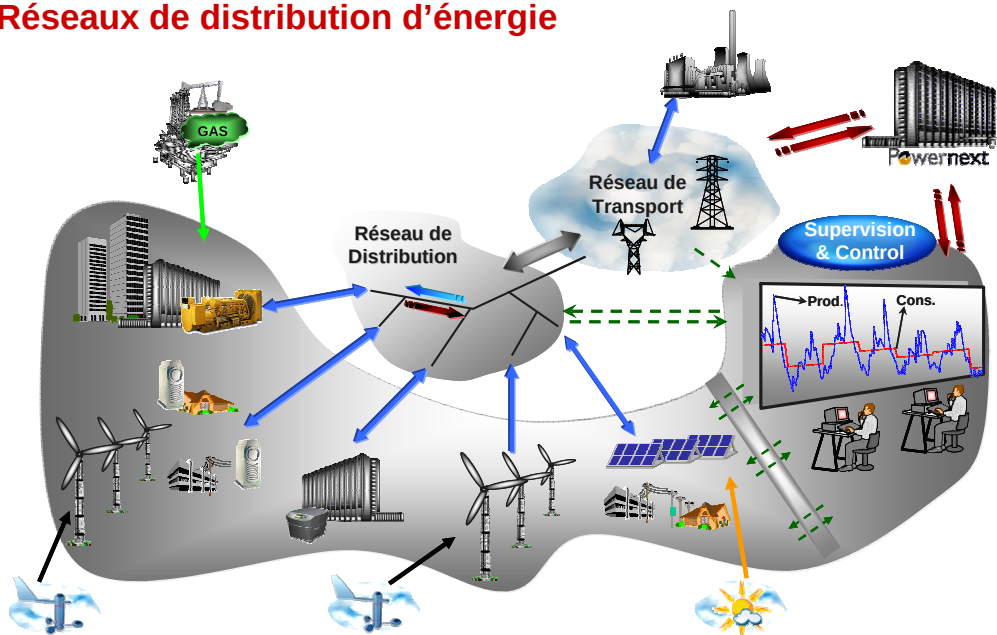


Fig. I.2: Quelques systèmes et applications en génie électrique

I.b.3 Concevoir des composants et des systèmes pour des enjeux sociétaux clefs

Avec les composants et les systèmes décrits précédemment, le génie électrique se trouve au cœur d'un certain nombre d'enjeux sociétaux fondamentaux.

Le premier d'entre-eux est celui de l'énergie avec les problématiques de :

- la distribution et de la transformation de l'énergie
- la valorisation des énergies renouvelables
- l'amélioration des rendements
- l'éco-conception des produits au long de leur cycle de vie (fabrication, fonctionnement, recyclage, ...)

On peut citer aussi les enjeux bio-médicaux.

I.b.4 Science de la conception et enjeux de conception pour le génie électrique

L'ambition des recherches présentées ici est de contribuer aux enjeux de la conception du génie électrique. Pour cela l'objet sera l'activité de conception en tant que telle avec des questions du types : comment peut-elle être caractérisée, instrumentée, améliorée ...

Ceci doit permettre d'apporter des contributions :

- pour aider à atteindre les objectifs de conception du génie électrique
- pour offrir une contribution au projet scientifique, qui au delà du génie électrique, essaye de caractériser scientifiquement ce qu'est la conception et comment on peut l'améliorer en ingénierie. Il s'agit donc de contribuer à une science de la conception.

I.c La vision classique de la conception en génie électrique: une approche « Objets – Savoirs – Méthodes - Outils » (OSMO)

Le génie électrique a compris, que malgré la diversité des composants et des systèmes auxquels il doit s'intéresser, la conception de ceux-ci pouvait faire l'objet d'un axe de recherche transversal, focalisé sur ces processus de conception. Cela se retrouve notamment dans la structuration nationale SEEDS¹, le groupement de recherche du CNRS fédérant les laboratoires français du génie électrique. SEEDS a en effet clairement identifié un socle, intitulé « Méthodes et méthodologies », dans lequel il y a un axe conception (dont je m'occupe accessoirement de l'animation).

Le fait d'avoir mis cet axe dans un socle commun intitulé « Méthodes et méthodologies » est à mon avis tout à fait typique de la perception de ce qu'est l'approche de la conception pour le génie électrique : un ensemble de méthodes et d'outils qui vise à concevoir des objets (en l'occurrence les composants et les systèmes du génie électrique) en utilisant des savoirs du domaine. Il s'agit d'une conception de la conception, que je qualifierai, pour la suite de ce document, de l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » que nous abrègerons par OSMO. Je vais commencer par caractériser cette approche. Je montrerai en quoi elle semble bien être le fondement de la conception telle qu'elle est abordée en génie électrique. La suite de ce manuscrit détaillera mes contributions dans le cadre de cette approche, qui se sont traduites par des méthodes, des outils, implantés dans des plates-formes logicielles pour le dimensionnement et l'optimisation de composants et de systèmes. Mais ce manuscrit proposera une vision critique de cette seule approche et des

¹ : voir glossaire

perspectives pour la dépasser et aller ainsi vers d'autres « conceptions » de la conception pour le génie électrique

I.c.1 L'aspect objet

Dans l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils », les objets sont les composants et les systèmes tels qu'ils ont été décrits dans les parties I.b.1 et I.b.2. Ils sont les objets centraux de la conception.

I.c.2 L'aspect savoir

Ce qu'on appellera savoir est constitué par l'ensemble des connaissances formalisées.

Il peut s'agir des théories de base dont font partie l'électromagnétisme, la mécanique, la thermique, la mécanique des fluides ... Il peut s'agir de modèles, qu'ils soient le résultat de théories, ou qu'ils s'agissent de modèles empiriques.

Ce savoir va se présenter sous la forme d'articles, de modèles, de livres, de rapports, de thèses, ...

Ces savoirs ont été validés globalement, par une communauté scientifique, ou localement par la pratique d'un groupe d'individus (dans un bureau de R&D par exemple).

La figure I.3 donne un exemple de savoir. Il s'agit d'un modèle paramétré pour faire du dimensionnement de moteur asynchrone [WFT-96]. Celui-ci permet, à partir des données géométriques du moteur (longueurs, diamètres, nombre de spires, ...) et des conditions d'utilisation (tension d'alimentation) de calculer les caractéristiques (poids, coût) et les performances du moteur (puissance, rendement, ...). Comme on peut le voir, un tel modèle est un savoir, qui lui-même s'appuie sur d'autres savoirs via une bibliographie. Il est lui-même constitué de paramètres, d'équations, de schémas, ...

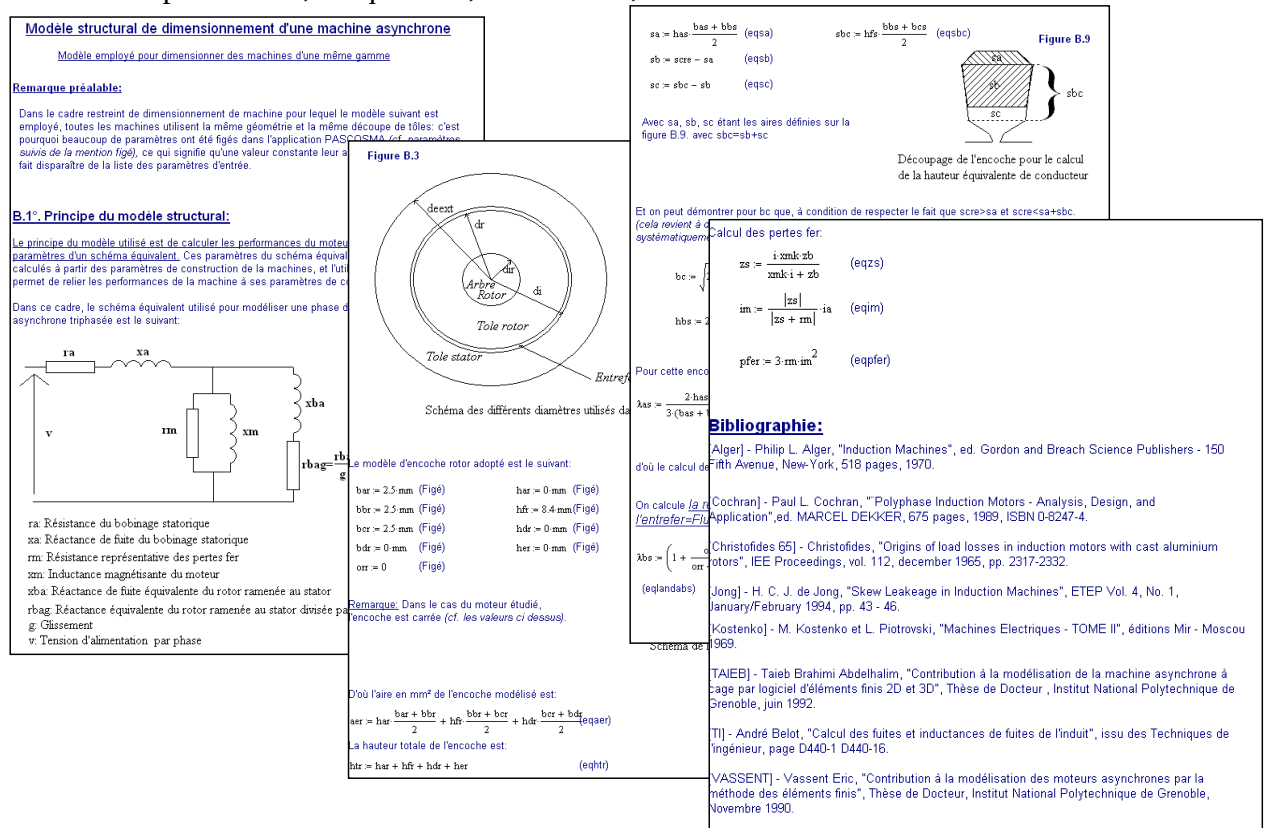


Fig. I.3: Un exemple de savoir du génie électrique : un modèle paramétré de moteur asynchrone, permettant de calculer ses performances à partir des paramètres géométriques en passant par un schéma équivalent (issu de [WFT-96])

I.c.3 L'aspect méthode

Les méthodes servent à résoudre 2 typologies de problèmes qui sont d'une part les problèmes inverses et d'autre part les problèmes directs. Nous allons définir la nature de ces deux types de problèmes et donner un aperçu des méthodes qui sont habituellement utilisées en génie électrique pour les résoudre.

Pour la résolution du problème direct

Définition du problème direct

Pour des caractéristiques données d'une machine (structure, dimensions et conditions d'utilisation), déterminer les performances.

Autrement dit, un dispositif est spécifié, et résoudre le problème direct consiste à être en mesure de simuler et de calculer le comportement du dispositif

Méthodes pour résoudre le problème direct

Pour résoudre ce problème direct, tout un ensemble de méthodes existent dont on peut rapidement donner quelques exemples :

- Il peut s'agir de méthodes par calcul algébrique, comme typiquement les calculs utilisés dans le modèle de la figure I.3.
- Il peut s'agir de méthodes numériques, pour résoudre les problèmes aux dérivées partielles, issues par exemple des équations de Maxwell donnant les lois fondamentales de l'électromagnétisme. Ont ainsi connu un succès considérable en génie électrique les méthodes de type éléments finis [COU-85], intégrales de frontières, méthodes des moments magnétiques [WFR-19], [WFR-20], ...

Pour la résolution du problème inverse

Définition du problème inverse

Pour des performances exigées, trouver les caractéristiques d'une machine (structure, dimensions et conditions d'utilisation).

On utilise quelquefois le terme de synthèse pour désigner le problème inverse.

Le problème inverse est souvent vu comme étant le problème de conception de façon générale. On caractérise ainsi classiquement la conception en disant qu'elle consiste à partir du cahier des charges pour en déduire une structure, des dimensions et des paramètres de fonctionnement.

Méthodes pour résoudre le problème inverse

On peut distinguer 2 activités qui entrent dans le cadre du problème inverse: la première activité est le choix de structure, la seconde activité est le dimensionnement.

Pour l'activité de choix de structure, les méthodes sur lesquelles on peut s'appuyer sont:

- Des méthodes par abaques et des outils s'appuyant sur des règles mathématiques simples. Ainsi [LEV-84] est un recueil donnant un certain nombre d'équations et d'abaques heuristiques, permettant de faire le bon choix de moteurs polyphasés.
- Des méthodes utilisant des règles heuristiques, basées sur de l'intelligence artificielle comme [TRI-91] qui faisaient du choix de structures de machines asynchrones, ou [GEN-91] qui faisait du choix de structures de contacteurs.
- ...

Pour l'activité de dimensionnement, les méthodes sur lesquels on va s'appuyer sont :

- des méthodes de calcul développées au coup par coup pour chaque type de machines
- des méthodes d'optimisation, qui peuvent être de différents types (déterministes, stochastiques, hybrides,...) [MAG-04].
- ...

I.c.4 L'aspect outils

Toutes les méthodes précédemment recensées peuvent être implantées sous forme d'outils, au sens outil logiciel.

Lorsqu'il s'agit des méthodes pour la résolution du problème direct, ces outils vont être des logiciels de simulation, comme des suites de simulation par éléments finis (voir figure I.5).

Lorsqu'il s'agit du problème inverse, ces outils vont être des logiciels de calcul, des programmes d'optimisation ou encore des systèmes experts.

I.c.5 L'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » : une approche classique, rationnelle et prescriptive de la conception pour le génie électrique

L'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » permet de conforter la vision classique et prescriptive du processus de conception telle qu'elle est rappelée sur la figure I.4: une approche prescriptive avec un certain nombre de phases clefs et bien identifiées à l'image de la vision à présent classique du processus de conception formalisée par l'école allemande de Pahl et Betz [PAH-77]. Chaque phase appelle ses propres méthodes, et savoirs, implantables dans des outils logiciels en vue de concevoir les objets (composants et systèmes) du génie électrique.

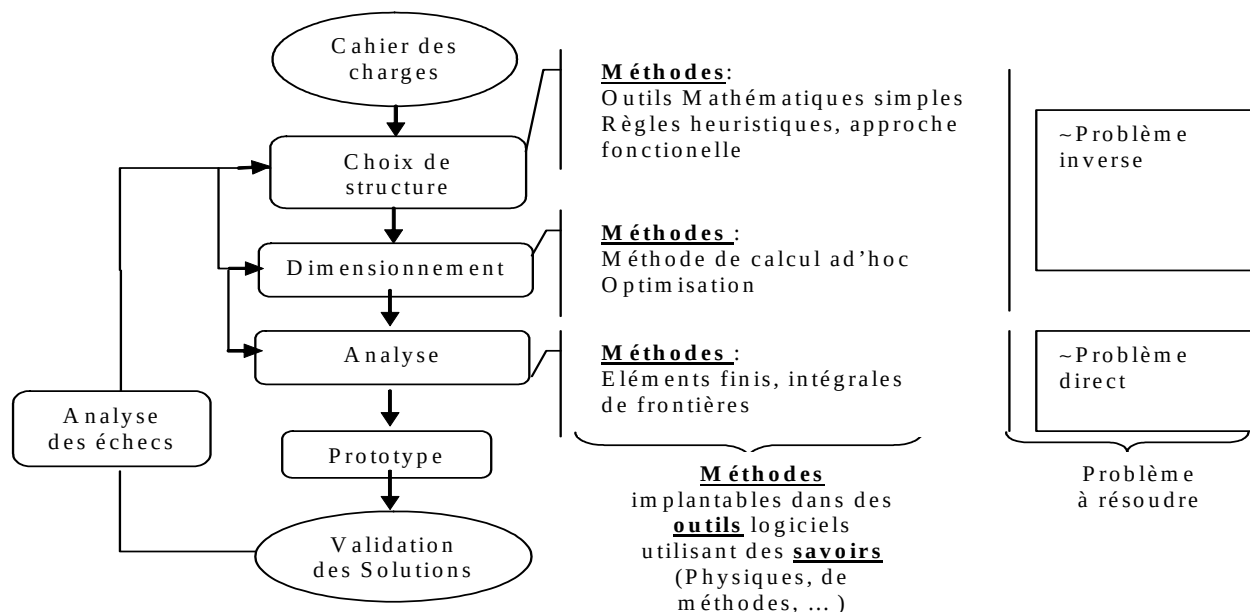


Fig. I.4: La vision de la conception pour le génie électrique dans le cadre de l'approche « objets – savoir – méthodes – outils »

I.c.5.a OSMO : Une approche classique pour la résolution du problème direct de calcul et de simulation

Historiquement, l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes - Outils» (OSMO) s'est d'abord développée pour résoudre le problème direct.

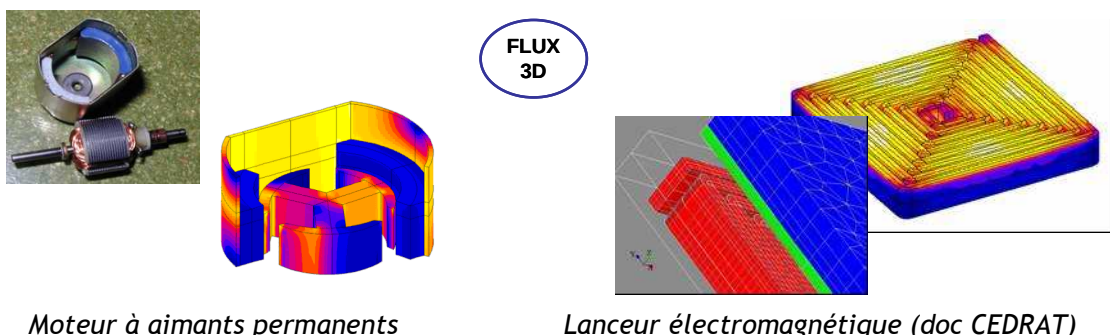
En premier lieu, a commencé la recherche sur les savoirs physiques des dispositifs du génie électrique, visant à comprendre et/ou à modéliser le fonctionnement des dispositifs. Le début de cette recherche date du XIX^{ème} siècle, à l'image de la référence la plus ancienne que j'ai utilisé concrètement, datant de 1897 et proposant le premier schéma équivalent, devenu à présent classique du moteur asynchrone [STEI-97]. Ce schéma modélise la conversion d'énergie électrique/mécanique qui se produit dans cette structure. Cette recherche sur les savoirs physiques a largement continuée au XX^{ème} et se poursuit toujours. Elle se traduit par la publication d'articles, et de livres dont certains sont devenus des références dans le domaine de structure de machines comme les machines asynchrones [ALG-70] ou les actionneurs [JUF-85].

A côté des savoirs physiques, s'est développé un savoir sur les méthodes pour mener à bien les activités de la conception et plus particulièrement les activités de simulation. Ainsi ont été développées des méthodes pour mener à bien les activités de simulation et de calcul « à la main » comme les approches par réseaux de réductances [ROT-41] modélisant un comportement magnétique par des schémas électriques équivalents appréhendables par un concepteur (l'équivalent existe en thermique ou en hydraulique)

La grande révolution a bien sûr été l'introduction de l'ordinateur, ce qui a permis d'automatiser les méthodes de calcul avec les premières expériences dans les années 50 [VEI-57] en vue de la résolution du problème direct.

Les progrès se sont poursuivis dans le domaine des méthodes de simulation. Mais, on peut dire que grossièrement, jusque dans les années 70, les approches consistaient à faire faire par l'ordinateur des calculs de résolution de problème directs que l'on faisait auparavant à la main.

A partir des années 60-70, ont été introduites des méthodes de simulation numérique qui jusqu'alors étaient trop complexes à employer sans un ordinateur: il s'agit des méthodes par éléments finis [COU-85] [FLU] (voir Fig. I.5), ou intégrales de frontière pour les problèmes aux dérivées partielles, et toutes les approches d'intégration des équations différentielles de type Rung-Kutta. Ces nouvelles perspectives ont été permises par l'augmentation de la puissance de calcul et de la convivialité des machines et des terminaux graphiques. La marche était alors triomphale, et les succès et progrès ont même pu laisser à penser que les approches plus classiques, analytiques, nécessitant des hypothèses plus fortes (typiquement les approches par schémas équivalents [STEI-97], les approches par réseaux de réductances [ROT-41], ...) seraient dépassées et mises aux oubliettes.



Moteur à aimants permanents

Lanceur électromagnétique (doc CEDRAT)

Fig. I.5: Les environnements de modélisation par éléments finis : Une grande réussite de l'approche OSMO pour la résolution du problème direct (Exemple du logiciel FLUX3D, diffusé par la société CEDRAT, permettant des simulation en 3 dimensions des champs magnétiques – Illustration sur un moteur à aimants permanents et l'inducteur d'un lanceur électromagnétique)

Vers le milieu des années 90 un recul s'enclenche par rapport aux approches numériques. Ainsi s'amorce l'idée que ces approches numériques constituent incontestablement une formidable nouveauté, mais leur vocation n'est peut être pas de se substituer aux approches classiques, mais plutôt d'offrir un complément. Ainsi l'utilisation des approches classiques, analytiques, à base de schémas équivalents recommence à connaître un regain d'intérêt. Ainsi on voit des travaux de type système expert, réutiliser des approches réseaux de réluctances formalisées dans les années 40 [GEN-91]. Ces approches semblent donc bien continuer à être nécessaires pour instrumenter les phases de pré-dimensionnement et d'analyse système.

En bref, et sans prétendre vouloir être ici exhaustif, la résolution de problèmes directs s'est traduite en génie électrique par la mise au point de méthodes, utilisant des savoirs sur la physique, sur les méthodes elles-mêmes pour produire des outils logiciels de type analytiques ou numériques.

I.c.5.b OSMO : Une approche classique pour la conception en Génie Electrique

La conception au sens de la résolution du problème inverse, s'est construite de la même façon sur un ensemble de vagues d'outils logiciels, implantant des méthodes et des savoirs. Ces logiciels ont donc eu pour vocation d'automatiser les activités de synthèse ou de résolution de problèmes inverses :

- on saisit un cahier des charges,
- puis l'outil logiciel, via une procédure ou un ensemble de procédures trouve la machine correspondante.

Les premières vagues d'outils de ce type sont des programmes avec une procédure dédiée de dimensionnement et de choix de structuré dédiée à l'objet électrique auquel on s'intéresse. Ainsi on voit se développer des programmes de ce type dès les années 50 et 60 pour le choix de structures et le dimensionnement de machines asynchrones [GOD-59], [VEI-60]. Cette approche s'est fortement amplifiée, notamment dans les bureaux de recherches et développement avec l'utilisation des tableurs pour résoudre des problèmes inverses [PEA-87]. Dans toutes ces approches, le savoir et les méthodes sur le fonctionnement physique de l'objet sont au même niveau que les méthodes et savoirs pour faire du choix de structure, du dimensionnement.

Puis les progrès de l'informatique ont permis de franchir un cap de plus en permettant la séparation des méthodes et savoirs concernant d'un côté le fonctionnement physique de l'objet et de l'autre côté les méthodes et savoir permettant la résolution du problème inverse. Ceci a été permis grâce à 2 approches:

L'approche optimisation

Le principe consiste à résoudre le problème qui est formalisé sur la figure I.6. Il s'agit d'exprimer des contraintes sur les paramètres d'entrée et de sortie et de définir un objectif, l'ensemble constituant le cahier des charges contraint

Pour cela il faut disposer d'une part d'un modèle paramétré : une « boîte » mathématique permettant de calculer des paramètres de sortie (qui sont typiquement les performances des dispositifs) qui dépendent elles mêmes de paramètres d'entrée (qui sont typiquement les paramètres de construction et de fonctionnement du dispositif) en utilisant pour cela des savoirs physiques et des méthodes mathématiques. **Ce modèle paramétré contient le savoir décrivant le fonctionnement physique de l'objet.** Ce savoir correspond d'ailleurs à la résolution du problème direct.

Mais surtout cette formulation générique est comprise par une pléthore d'algorithmes et de savoirs permettant de résoudre le problème exprimé ainsi : il va s'agir d'algorithmes de

type déterministes ([RAM-71], [RAM-73], [POW-82], [POW-85], [HAR-87], [SAL-88], [KAD-93], [KON-93a], [KON-93b] [CUL-94] ...), stochastiques ([GOL-94], [ULE-94], [VAS-94], [RIC-95], [KOZ-96], [WFR-3] ,[REG-03], [SAR-06] ...) pour traiter des problèmes linéaires, non linéaires, ... **Ces algorithmes sont les méthodes, indépendants des savoirs sur le fonctionnement physique de l'objet qui vont permettre de résoudre le problème inverse.**

$$P1 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} \min_p \text{fob}(p) \\ \text{avec } g_i(p) \leq 0 & i=1,l \\ & g_i(p) = 0 \quad i=l+1,m \\ p_{j\min} \leq p_j \leq p_{j\max} & j=1,k \end{array} \right.$$

Fig. I.6: Formulation d'un problème d'optimisation contraint sous laquelle peut se ramener se ramener un problème de dimensionnement

Cette approche a connu et continue à connaître un succès immense avec des vagues de travaux dont on peut donner un échantillon ici :

- On peut retrouver des références datant du début des années 70. On y utilise des algorithmes déterministes avec des modèles analytiques sous forme de schémas équivalent, [RAM-71] puis [RAM-73].
- Des travaux des années 90 [KON-93a], [KON-93b], dans lesquels on faisait de l'optimisation de machines synchrones toujours en utilisant un savoir sous forme de modèle analytiques
- Des travaux entamés à partir de la fin des années 80, et du début des années 90 , dans lesquels on fait ce qu'on appelle de l'optimisation de forme. Le principe consiste à utiliser des savoirs et des méthodes de modélisation numérique pour le modèle paramétré. On peut citer des travaux tels que [SAL-88], [KAD-93] ou ces approches sont mises en œuvre sur des structures de machines électriques classiques en utilisant des approches de type éléments finis.
- Le milieu des années 90 voit apparaître les algorithmes d'optimisation stochastiques, et particulièrement les algorithmes génétiques [GOL-94], appliqué au Génie Electrique [RIC-95], [VAS-94]. Ces algorithmes génétiques sont utilisés avec des modèles utilisant des savoirs analytiques ou numériques.
- ...

L'approche intelligence artificielle

A côté de cette approche optimisation, s'est développée l'approche intelligence artificielle datant de la fin des années 80, et du début des années 90, époque que l'on peut qualifier de grande vague de l'intelligence artificielle.

Dans cette approche, le paradigme de base consiste aussi à séparer les savoirs sur les applications des savoirs pour la résolution du problème. **On a donc d'un côté ce qu'on appelait les bases de connaissances de l'objet : elles contenaient les savoirs physiques et empiriques sur les objets à concevoir**, recueillis par des méthodes d'interview auprès des experts. **On a d'un autre coté les moteurs d'inférences qui contenaient des savoirs et méthodes génériques de résolution** : typiquement des moteurs d'inférence utilisant du chaînage avant, du chaînage arrière, ... C'est sous le couvert de cette hypothèse de séparation des savoirs métiers et des savoirs et méthodes de résolution qu'ont été développés ce qu'on appelait alors les systèmes experts [HAT-92]. Des systèmes de ce type ont été développés en génie électrique pour faire des outils de choix de structures et de dimensionnement:

- de contacteurs [GEN-91],
- de machines asynchrones [TRI-91], [ESC-96] ...
- d'ensembles convertisseurs commandes machines [GER-93].

Tous ces travaux se sont faits dans le cadre d'une vague internationale de recherches de ce type dans le génie électrique dont on pourra trouver une synthèse dans [LOW-95a] et [LOW-95b]. Il est à noter que ces travaux ont connu un essoufflement, voire ont marqué un arrêt très net vers la fin des années 90.

En bref l'approche optimisation et l'approche intelligence artificielle, ont en commun de voir l'étude de la conception comme : une discipline visant à faire des outils logiciels, implantant des méthodes et savoirs en vue de faire la conception des objets.

Résumé introductif du chapitre II

Le chapitre II présente un ensemble de travaux menés et dirigés dans le cadre de l'approche OSMO (Objets – Savoirs – Méthodes – Outils). L'ambition a été de réaliser des méthodes et outils pour instrumenter certaines phases particulières de la conception que sont les études de faisabilité et le dimensionnement et qui relèvent de la résolution du problème inverse. Les idées maîtresses sont :

- utiliser les **savoirs** du génie électrique que sont des **modèles mathématiques physiques**, essentiellement **de type analytique et semi-analytique**
- utiliser les **méthodes** de type **optimisation**
- pour permettre au concepteur du génie électrique d'utiliser l'ensemble dans des **outils logiciels d'optimisation** qui lui permettent une mise en œuvre aisée.

Dans cet esprit plusieurs générations de plates-formes logicielles ont été explorées : nous nous attarderons plus particulièrement sur la première, intitulée PASCOSMA, et sur la dernière, intitulée CADES qui fait l'objet de développements importants autour de la notion de composants logiciels. Nous montrerons comme ces plates-formes ont été des catalyseurs pour explorer des questions scientifiques comme :

- les méthodes pour dériver de façon formellement exacte des modèles mathématiques et physiques, en allant du calcul formel jusqu'à des techniques de dérivation de code
- les méthodes d'aide à la création de modèles analytiques et semi-analytiques utilisant des approches comme les circuits équivalents, ou les réseaux de réductances, avec une volonté de les mettre en œuvre de façon optimale pour le dimensionnement, ce qui signifie notamment réfléchir aux méthodes permettant de calculer leur sensibilité de manière formellement exacte pour faciliter la résolution du problème inverse
- les architectures d'outils logiciels permettant d'implanter au mieux les modèles physico-mathématiques et les méthodes explorées. On montrera ainsi :
 - o Les intérêts mais aussi les faiblesses architecturales de la première plate-forme (PASCOSMA),
 - o pour montrer comment des concepts, comme celui de composant logiciel ou de framework logiciel mis en œuvre dans la dernière génération de plate-forme (CADES), permettent de surmonter ces faiblesses tout en apportant une réponse à des freins majeurs comme la capitalisation des modèles, ou l'interopérabilité des modèles et des méthodes en vue de gérer les problèmes de multi-physique ou de multi-niveaux de modélisation.

Au delà de ces aspects méthodologiques, ce chapitre se conclura par une description concrète des types de problèmes et des applications qu'un concepteur du génie électrique peut mener à bien avec les méthodes et outils réalisés. Ainsi on montrera comment ils permettent de résoudre des problèmes typiques des phases de dimensionnement et d'étude de faisabilité comme :

- Optimiser les structures
- Faire du dimensionnement système en intégrant des critères sur la durée de vie du produit
- Evaluer le potentiel d'une structure
- Comparer 2 structures

II. Travaux dans le cadre de l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes - Outils » : des méthodes et plates-formes logicielles pour le dimensionnement des composants et systèmes

II.a Besoin, contexte positionnement

II.a.1 Le besoin : des méthodes et outils pour le dimensionnement optimal et les études de faisabilité

L'ambition d'une grande partie des recherches que j'ai menées a été d'instrumenter les phases d'étude de faisabilité, de pré-dimensionnement, et de dimensionnement optimal.

II.a.2 L'importance fondamentale des phases de pré-dimensionnement et d'études de faisabilité dans le processus de conception

Le but est d'instrumenter plus particulièrement les premières phases de la conception, lorsqu'il s'agit de réaliser des pré-dimensionnements ou de faire des études de faisabilité de composants et de systèmes du génie électrique avec une vision système macroscopique. Cette recherche comble un vide, car ces phases de la conception sont mal instrumentées, par rapport aux phases d'analyse fine pour lesquelles existent une grande variété de solutions scientifiques, techniques et commerciales (cf. les logiciels de simulation numérique utilisant les méthodes par éléments finis comme Ansoft, Flux2D et Flux3D [FLU], ..., les logiciels de simulation temporelle comme PSPice, Saber, Mathlab-Simulink [MAT]...). Il est par ailleurs très important d'instrumenter ces phases, car nombre d'études sur l'activité de conception montrent que même si ces phases de pré-dimensionnement et d'études de faisabilité ne représentent que 5% du coût total de l'activité de conception, les choix qui y sont faits impactent néanmoins près de 75% des coûts qui seront engagés sur la durée de vie du produit (voir les études citées dans [VIS-04]).

II.a.3 Positionnement dans le cadre OSMO

Les objets au coeur des recherches sont les composants du génie électrique, avec une volonté d'aller vers les systèmes (voir figures I.1 et I.2)

Les savoirs sont des modèles mathématiques et physiques, du type de la figure I.3

Les méthodes sont les méthodes d'optimisation, avec le cahier des charges conforme aux définitions de la figure I.6

Les outils sont les différentes plates-formes logicielles élaborées, pour instrumenter les phases de pré-dimensionnement, d'analyse de faisabilité, ...

II.b Des plates-formes logicielles pour le dimensionnement et les études de faisabilité

II.b.1 Une ambition initiale : rendre accessible les approches d'optimisation aux concepteurs non informaticiens du génie électrique

Les plates-formes développées visaient à rendre accessibles les approches d'optimisation aux concepteurs du génie électrique qui le plus souvent sont des experts avec peu, ou pas, de connaissances informatiques. Aussi fallait-il imaginer comment leur donner accès aux ressources des approches par optimisation, pour résoudre des problèmes de

dimensionnement, ou d'études de faisabilité de structures pré-choisies, dans des conditions simples et efficaces, sans nécessiter de programmation ou de maintenance informatique.

II.b.2 PASCOSMA : une première plate-forme pour le dimensionnement et les études de faisabilité

II.b.2.a D'une approche initiale : PASCOSMA

L'approche PASCOSMA

Ainsi une première approche, intitulée PASCOSMA (pour Programme d'Analyse de Synthèse de Conception et d'Optimisation de Systèmes Modélisables Analytiquement) avait été imaginée.

La figure II.1 présente le principe de cette approche.

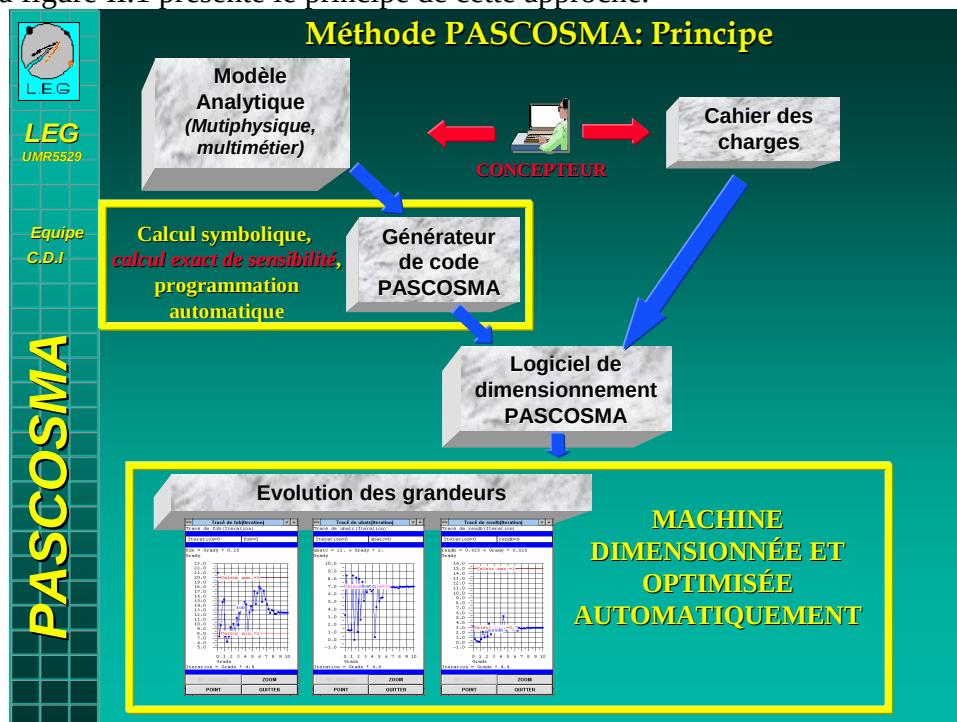


Fig. II.1: Le principe de la méthode PASCOSMA

Dans celle-ci, le concepteur doit fournir :

- un modèle du dispositif (savoir conforme à la figure I.3), sous forme d'équations analytiques algébriques explicites, à un générateur de code qui va programmer automatiquement un logiciel de dimensionnement
- un cahier des charges exprimé sous forme de contraintes sur les paramètres d'entrée et de sortie du modèle avec une fonction objectif à minimiser (voir figure I.6).

Le générateur PASCOSMA

Le modèle, comme l'illustre la figure II.2 est fourni sous forme déclarative dans un fichier.

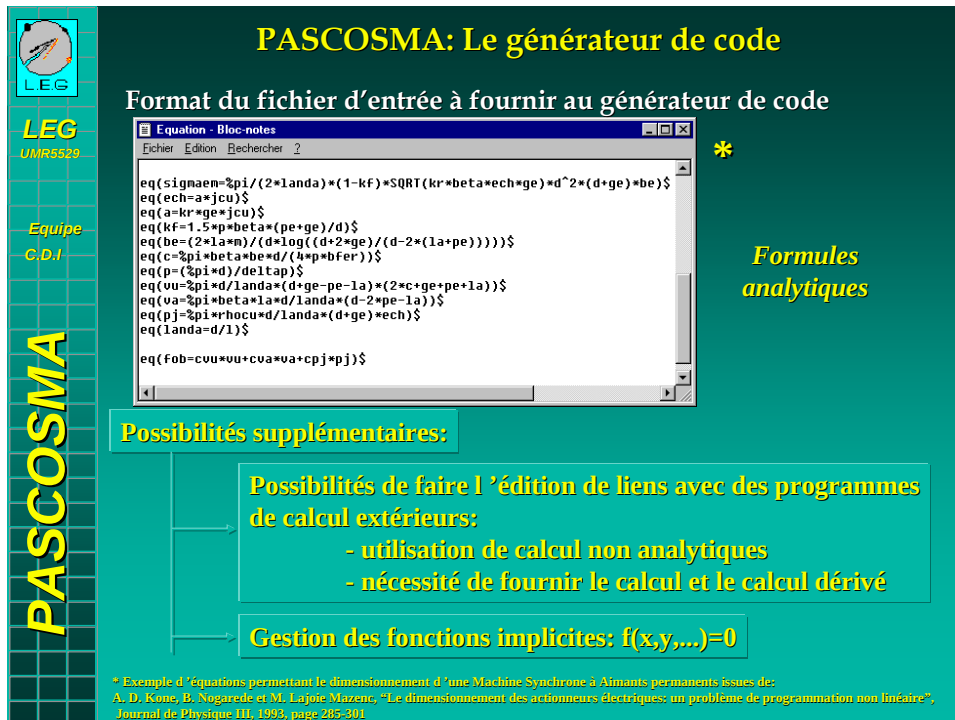


Fig. II.2: Le générateur de code PASCOSMA – Ce générateur utilise un fichier contenant les équations du modèle de dimensionnement

Le générateur va alors procéder en 7 étapes (cf. fig. II.3) pour créer automatiquement un programme de dimensionnement par optimisation.

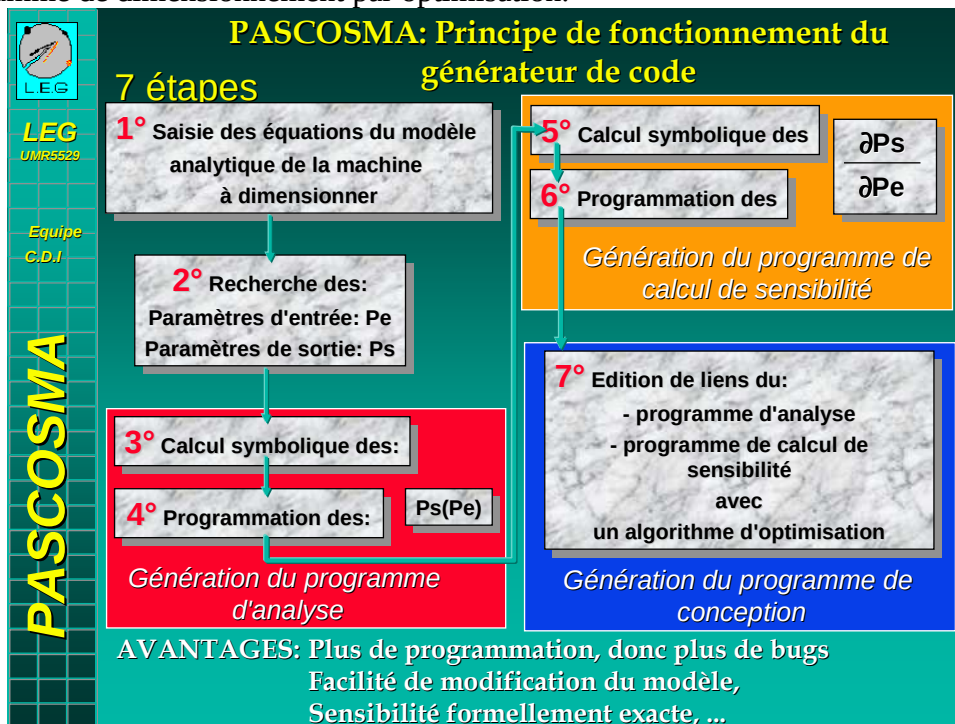


Fig. II.3: Les 7 étapes du générateur PASCOSMA pour créer un programme d'optimisation

Outre les étapes de saisie des équations et de recherche des paramètres d'entrée et de sortie du modèle, 3 grandes phases sont à distinguer :

- une phase de génération d'un programme d'analyse qui utilise du calcul symbolique et de la programmation automatique

- une phase de génération d'un programme de calcul de sensibilité qui utilise du calcul symbolique et de la programmation automatique notamment pour fournir un calcul de gradient formellement exact
- une phase d'édition de liens au cours de laquelle le programme d'analyse et le programme de calcul de sensibilité sont liés avec un algorithme d'optimisation. En l'occurrence, c'est un algorithme de type gradient qui avait été choisi, pour exploiter les informations de type gradient du programme de calcul de sensibilité. Il s'agissait d'un algorithme de type Minimisation Séquentielle Quadratique (ou SQP pour Sequential Quadratic Programming) [POW-85]. Nous avons utilisé l'implantation VF13 issu de la bibliothèque numérique Harwell [HAR-87].

Les applications PASCOSMA

Le générateur permet de produire des applications PASCOSMA. La figure II.4 nous donne un aperçu d'une telle application.

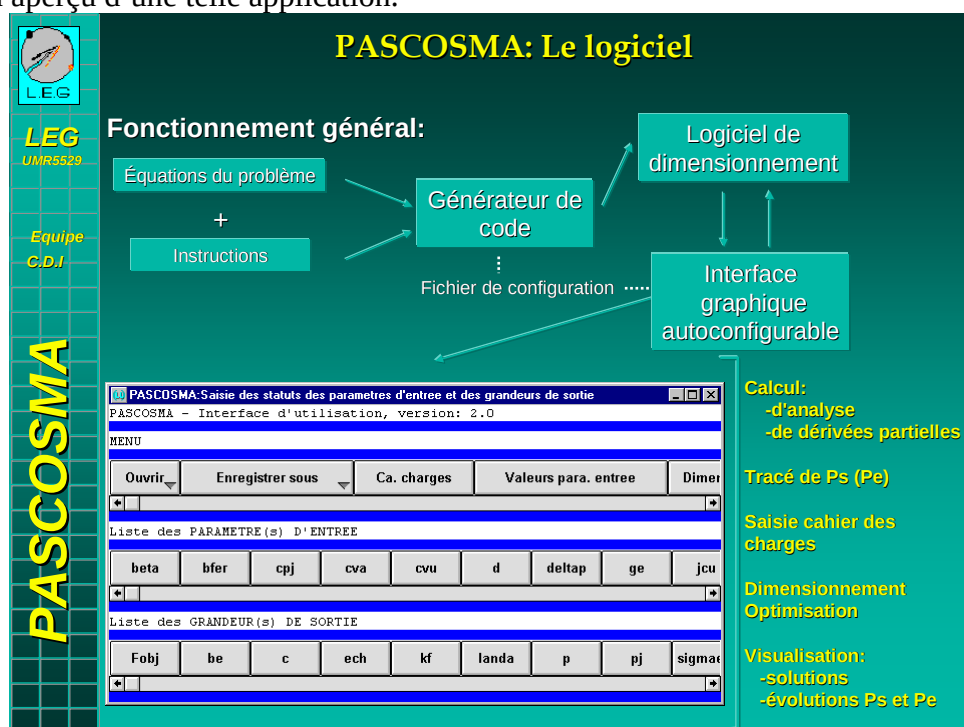


Fig. II.4: Les applications PASCOSMA générées – Rappel du principe global de génération des applications et vue de l'IHM principal d'une application générées, rappel des fonctionnalités disponibles

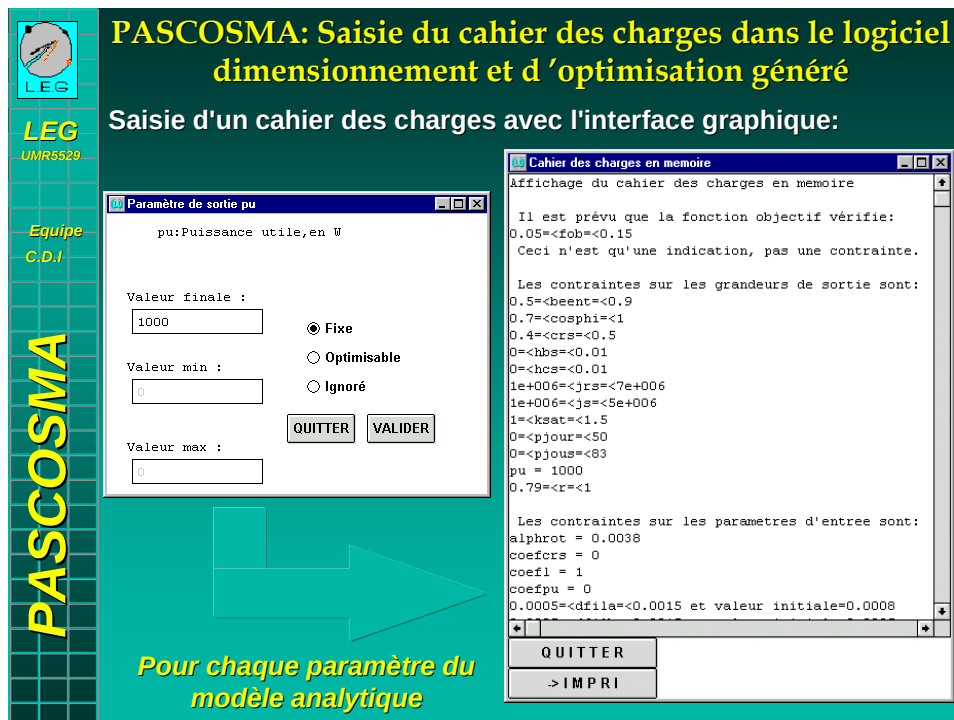


Fig. II.5: Optimisation avec une application générée par PASCOSMA : saisie du cahier des charges par saisie des contraintes sur les paramètres d'entrée et de sortie du modèle

Dès lors ce cahier des charge saisi, et comme l'illustre la figure 2.6, un dimensionnement par optimisation peut être obtenu : l'application PASCOSMA, en utilisant son programme d'analyse, son programme de calcul de sensibilité et son algorithme d'optimisation va chercher une solution qui minimise la fonction objectif tout en respectant les contraintes sur les paramètres d'entrée et de sortie.

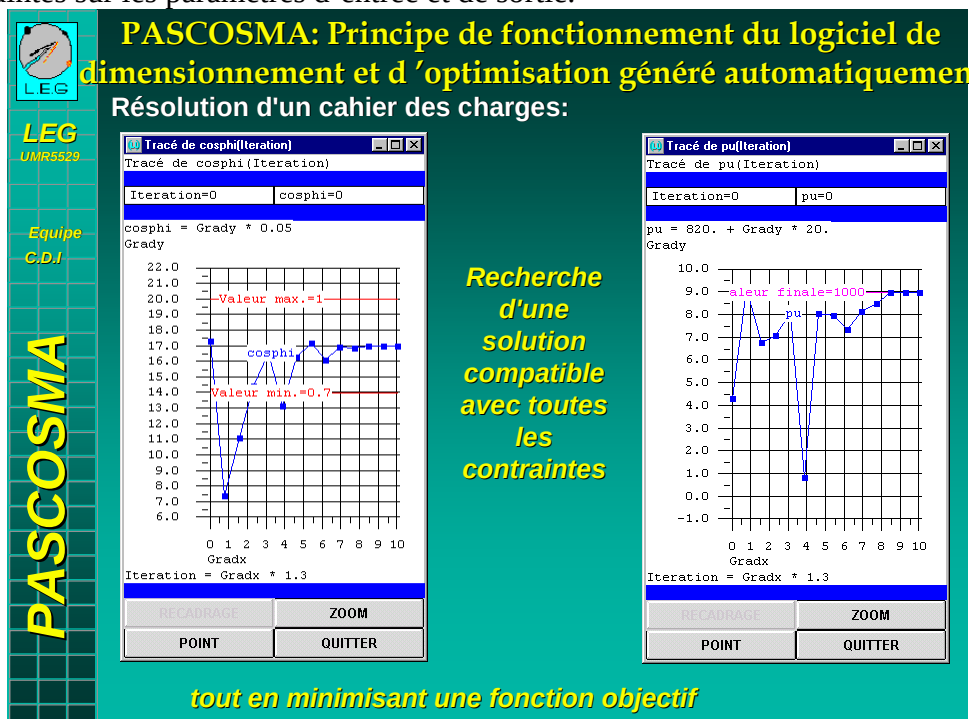


Fig. II.6: Optimisation avec une application générée par PASCOSMA : visualisation de l'évolution du dimensionnement par optimisation

Cette approche est très exhaustivement détaillée dans les références : [WFR-2], [WFR-5], [WFT-96]

II.b.2.b Les apports de l'approche PASCOSMA

L'apport de l'approche PASCOSMA réside dans le fait qu'elle apportait une réponse aux 6 critères suivants :

- * Critère N°1: elle est *utilisable par tout électrotechnicien* et, en particulier, les électrotechniciens n'ayant pas de compétences particulières en informatique.
- * Critère N°2: elle *offre des facilités de mise en oeuvre et des temps de développement rapides*. Cette mise en oeuvre et ce développement devront pouvoir être assurés par un électrotechnicien non informaticien.
- * Critère N°3: elle offre une approche *facilement maintenable et évolutive*, et ceci peut être assuré par un électrotechnicien non informaticien.
- * Critère N°4: elle offre une réponse pour avoir *des temps de réponse rapides* c'est-à-dire fournir des solutions au cahier des charges posé en un temps raisonnable. Ceci est notamment assuré par le fait que la sensibilité du modèle est générée de manière formellement exacte contribuant à rendre l'optimisation rapide et robuste avec l'approche d'optimisation de type gradient choisie. Outre cet aspect de calcul formellement exact des gradient, la robustesse du code est aussi assurée par la mise en oeuvre automatique de processus de normalisation des grandeurs du modèle avant de les fournir au cahier des charges [WFT-96].
- * Critère N°5: Elle offre *une faculté à concevoir une machine électrique complète* en intégrant tous les phénomènes qui peuvent intervenir dans cette machine et qui peuvent influencer sa conception.

PASCOSMA semble avoir répondu, grâce au respect de ces critères à un réel besoin comme en témoigne le fait que l'approche a été utilisée pour un certain nombre d'applications de dimensionnement en génie électrique comme en témoigne le tableau II.1 ci-joint.

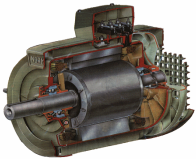
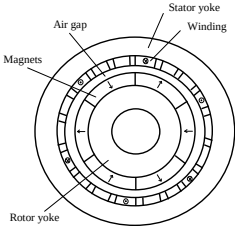
Type de l'application de dimensionnement	Description	Universitaire utilisateur	Industriels utilisateur	Références
Moteurs	Machines asynchrones 	G2ELAB	Groupe Radio-Energie - Marcoussis	[WFT-96]
	Machines synchrones 	G2ELAB		[WFR-2] avec l'exemple de machine synchrone à aimants permanents issu de [KON-93a]
	Moteurs intégrés dans une roue 	L2ES Belfort	—	[WFR-4], [WFR-7], [WFC-3], [WFC-4], [ESPA-98]
	Machine à réluctance variable	G2ELAB	Groupe Radio-energie - Marcoussis	[WFC-11], [WFC-12], [WFC-14], [SAU-00]
	Machines asynchrones monophasées (Moteurs de stores et volets déroulants) 		Société Somfy - Cluses	Contrat Somfy 96-97
	Moteurs à courant continu à aimants permanents	L2ES Belfort	—	[FAS-01], [FAS-03]
Transformateurs	Distribution d'énergie Electrique 			[WFR-5]

Tableau II.1 : un aperçu des applications dans lesquelles l'approche PASCOSMA a été utilisée

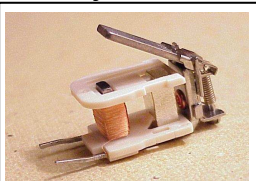
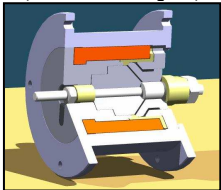
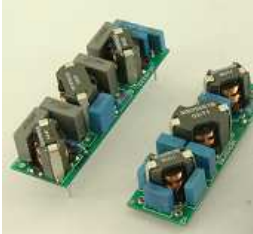
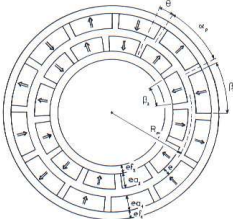
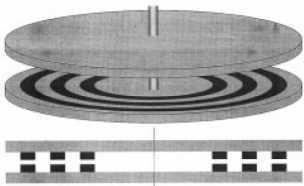
Actionneurs linéaires et pivotants	Actionneurs pour disjoncteur  Schneider Electric		Schneider Electric	[WFR-8]
	Actionneur d'électrovanne (aéronautique) 		Snecma (Ex-SEP)	[WFC-9]
Electronique	Convertisseurs statiques en électronique de puissance 			[WFC-2], [WFC-5], [WFC-7], [WFC-8], [WFC-13]
Filtres	Filtres pour application Télécommunication 		Microspires(57 – Illange)	Contrat Microspire, février à juin 2001
Coupleurs	Coupleurs magnétiques 			[WFC-6], [WFC-10], [COU-99]
Microsystèmes	Micro paliers magnétiques 			[FER-20]

Tableau II.1 : un aperçu des applications dans lesquelles l'approche PASCOSMA a été utilisée

Toutes ces applications ont validé l'intérêt du concept PASCOSMA et lui ont permis d'être à l'origine du projet de création de la société DPTE (Design Processing Technologies)², qui commercialise le logiciel Pro@Design qui offre une implémentation améliorée du principe PASCOSMA, notamment grâce aux travaux de recherche d'E. Atienza [ATI-03].

II.b.2.b Les limites de l'approche PASCOSMA

Ces travaux ont contribué autant par les apports qu'ils ont permis de valider que par les limites et besoins qu'ils ont mis en évidence et qui ont été :

- **Limitation A°: Une nécessité d'extension du type de modèles qu'on peut prendre en compte** : avec l'approche PASCOSMA de base nous étions limités à des modèles analytiques algébriques, essentiellement du fait que nous calculions le gradient de façon formellement exact. Ceci est bien sur limitatif, excluant des formes de calcul numériques comme des modèles se basant sur de la résolution d'équations implicites, d'intégrations numériques, des intégrations temporelles d'équations différentielles, de calculs décrits par des algorithmes...
- **Limitation B: Problème de disponibilité des modèles** : pour être mise en œuvre, l'approche nécessite de disposer de savoirs que sont les modèles des dispositifs. Le frein principal est de disposer de ces modèles qui existent quelquefois dans les bureaux d'études sous formes de feuilles de calcul Excel typiquement, mais pas toujours. Or sans ces modèles l'approche est inopérante, sauf à passer un temps non négligeable à leur développement.
- **Limitation C: Problème d'interopérabilité** : On peut avoir ainsi besoin de se coupler, occasionnellement à des calculs numériques réalisés avec des logiciels de simulation. On peut avoir besoin aussi de coupler des modèles entre eux, représentant des physiques complémentaires (aspect multi-physiques), ou coupler des modèles représentant des niveaux différents de modélisation.
- **Limitation D°: Problème de changements d'algorithmes d'optimisation** : L'approche de base n'offrait qu'un type d'algorithme de type gradient, en l'occurrence un algorithme de type « Sequential Quadratic Programming » [POW-85]. Il semble pertinent, vu la multitude des algorithmes existants par ailleurs de pouvoir connecter le modèle généré, avec son gradient calculé formellement, avec d'autres algorithmes, notamment des algorithmes sachant gérer des paramètres discrets.

II.b.2.c Les recherches initiées grâce à l'approche PASCOSMA

La dérivation formellement exacte des modèles

Par rapport à la limitation A° (impliquant qu'on était limité à n'utiliser que des modèles analytiques algébriques, pour assurer ensuite un calcul formellement exact du gradient), une stratégie pour la surmonter aurait pu être de renoncer à la dérivation formelle des modèles et donc de s'intéresser à des algorithmes n'utilisant pas l'information du gradient (comme les algorithmes génétiques par exemples). Or dans nos recherches nous avons voulu explorer une autre voie : **n'est-il pas possible d'étendre les cas où l'on peut calculer les gradients de manière formellement exacte ?**

Nous l'avons exploré pour les raisons suivantes :

- cette approche, lorsqu'elle est possible ne peut être que plus efficace, car en disposant du gradient, on dispose de plus d'information. Les optimisations ont donc de fortes chances d'être plus rapides et plus robustes ce qui est important

² Pro@DESIGN : www.designprocessing.com

pour les phases d'étude de faisabilité dans lesquelles on doit itérer rapidement et de façon aussi fiable que possible.

- le fait de montrer que le calcul de gradient est possible dans un grand nombre de cas, où il n'est usuellement pas réalisé constitue une voie d'exploration scientifique intéressante.

Ainsi, dans le cadre de notre stratégie de recherche visant à étendre les capacités de calcul exact du gradient, nous avons réalisés les travaux synthétisés dans le tableau II.2. Les perspectives explorées vont ainsi bien au delà du calcul formel symbolique sur des expressions algébriques analytiques explicites formelles (qui était l'approche de base dans PASCOSMA [WFT-96]).

Type de modèles et d'équations à dériver de façon formellement exacte	Description du problème d'un point de vue mathématique et solution de dérivation formellement exacte proposée	Composant /Système du Génie Electrique pour lequel l'approche a été mise en oeuvre	Références
A° - Fonctions affines définies par morceaux	Modèle défini par un ensemble de points que l'on interpole linéairement : Entrées x_{calc} $(x_i)_{i \in \{1;...;n\}}$ $(y_i)_{i \in \{1;...;n\}}$ $(\varepsilon_j)_{j \in \{2;...;n-1\}}$ Fonctions Continues Affines par Morceaux Sorties y_{calc} dy_{calc} / dx_{calc} dy_{calc} / dx_i dy_{calc} / dy_i $dy_{calc} / d\varepsilon_i$ La continuité de la dérivée aux points (x_i, y_i) est assurée par une interpolation quadratique entre les deux portions affines connectées sur une largeur ε_i	Machine à réluctance variable	[SAU-00], [WFC-12], [WFC-14]
B° - Dérivation des racines d'un polynôme par rapport aux coefficients	Entrées $(a_i)_{i \in \{0;...;n\}}$ Calcul des Racines d'un Polynôme. $(x_1, \dots, x_n) = \text{racines du polynôme}$ $P(X) = a_0 + a_1 \cdot X + \dots + a_n \cdot X^n$ Sorties $(x_j)_{j \in \{1;...;n\}}$ dx_j / da_i	Machine à réluctance variable, transformateurs	[WFR-9], [SAU-00], [WFC-18], [WFC-19], [WFC-20]
C° - Dérivation d'un processus de minimisation par moindres carrés	Entrées $(i_j)_{j \in \{1;...;p\}}$ $(\phi_j)_{j \in \{1;...;p\}}$ $f(a_1, \dots, a_n, x)$ Sorties $(a_j)_{j \in \{1;...;n\}}$ $\left(\frac{\partial a_j}{\partial i} \right)_{j \in \{1;...;p\}}$ $\left(\frac{\partial a_j}{\partial \phi_i} \right)_{j \in \{1;...;p\}}$	Machine à réluctance variable	[SAU-00], [WFC-11], [WFC-14]
D° - Dérivation de fonctions implicites non linéaires	Il s'agit du cas où nous avons un jeu des équations dont l'expression algébrique est connue: $F_k(Pe_1, Pe_2, \dots, Pe_n, X_1, \dots, X_s) = 0, \quad k=1, s$ Définissant s fonctions implicites G_k telles que : $X_k = G_k(Pe_1, Pe_2, \dots, Pe_n), \quad k=1, s$ Si les fonctions G_k sont calculées par un algorithme de résolution numérique, on peut en revanche calculer de manière formellement exacte le jacobien des fonctions implicites pour arriver au résultat suivant par utilisation du théorème de dérivation des fonctions implicites [CIAR-90] : $J = -Q^{-1} \cdot M$ avec $J_{q,j} = \frac{\partial G_q}{\partial P_j}, Q_{q,k} = \frac{\partial F_q}{\partial X_k}, M_{q,j} = \frac{\partial F_q}{\partial P_j}$ et $q=1, s, j=1, n$ et $k=1, s$ A noter qu'il existe une autre approche dite de la variable adjointe [GIT-89], qui permet d'obtenir le calcul de sensibilité	Actionneur linéaire et toutes les approches utilisant des réseaux de réluctances	[WFR-6], [COU-99], [WFR-21], [WFC-9], [WFC-48], [WFC-54]

Tableau II.2 : Synthèse des travaux réalisés pour calculer le gradient de manière formellement exacte, autres que par approche de dérivation formelle d'expressions algébriques explicites – Ces approches sont classées en allant des problèmes les plus simples aux problèmes les plus compliqués

E°- Dérivation de fonctions implicites linéaires	dans le cas de fonctions implicites Il s'agit du cas où nous avons un jeu de $i=1,n$ équations linéaires, définissant un vecteur $[C]$ de n inconnues, paramétrés par un vecteur $[P]$ de m paramètres $\alpha_{i,i}([P]) \cdot C_1 + \dots + \alpha_{n,i}([P]) \cdot C_n = \beta_i([P])$ (equ_i) ceci définissant les fonctions implicites suivantes : $F_i([C], [P]) = \alpha_{i,i}([P]) \cdot C_1 + \dots + \alpha_{n,i}([P]) \cdot C_n - \beta_i([P])$ le tout peut se ramener à un système implicite linéaire à résoudre, visant à trouver le vecteur $[C]$ d'inconnues : $[A][C] = [\beta], \text{ où } [A] = [\alpha_{j,i}]_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq j \leq n}} \text{ et } [\beta] = [\beta_i]_{1 \leq i \leq n}$ Soit $[C_{sol}] = [A]^{-1} \cdot [\beta]$ la solution, on peut montrer en utilisant le théorème de dérivation des fonctions implicites que : $\left[\frac{\partial C_{sol,j}}{\partial P_k} \right] = \left(\left[\frac{\partial F_i}{\partial C_j} \right]_{C_j = C_{sol,j}} \right)^{-1} \left[\frac{\partial F_i}{\partial P_k} \right] \text{ avec } j=1,n \text{ et } k=1,m$ Soit encore : $\left[\frac{\partial C_{sol}}{\partial P_k} \right] = [A]^{-1} \left[\frac{\partial F_i}{\partial P_k} \right]$ Il en résulte donc que la matrice $[A]^{-1}$ sert non seulement à trouver $[C_{sol}]$, mais aussi à calculer le gradient en fonction des paramètres du problèmes. A noter qu'il existe une autre approche dite de la variable adjointe [GIT-89], qui permet d'obtenir le calcul de sensibilité dans le cas de fonctions implicites	<i>Filtre passif pour application télécoms et filtrage</i>	[WFC-66]
F°- Dérivation de calcul d'intégration numérique	Ce type de calcul est notamment utilisé pour le calcul de force magnétique par intégration sur des surfaces et des volumes. Il s'agit de calcul du type : $E(d, c, h) = \int_{a(d,h)}^{b(d,h)} Z(d, c, h, t) \cdot dt$ Pour lequel on peut montrer que le gradient peut se calculer de façon formellement exact selon les formules : $\frac{\partial E(d, c, h)}{\partial c} = \int_{a(d)}^{b(d)} \frac{\partial Z(d, c, h, t)}{\partial c} \cdot dt$ $\frac{\partial E(d, c, h)}{\partial h} = \left(\frac{\partial b(d, h)}{\partial h} - \frac{\partial a(d, h)}{\partial h} \right) \cdot Z(d, c, h, a(d, h))$ $\frac{\partial E(d, c)}{\partial d} = \int_{a(d)}^{b(d)} \frac{\partial Z(d, c, h, t)}{\partial d} \cdot dt + \left(\frac{\partial b(d, h)}{\partial d} - \frac{\partial a(d, h)}{\partial d} \right) \cdot Z(d, c, h, a(d, h))$	<i>Micro-systèmes magnétiques micro-actionneur pour miroir déformants, micro-commutateurs</i>	[WFR-19], [WFR-20], [WFC-41], [WFC-49], [WFC-50], [WFC-51], [WFC-52] les références de base étant : [GER-00] et [GER-99]
G°- Dérivation de calcul d'intégrations d'équations différentielles	Il s'agit du cas où le modèle comporte un système d'équations différentielles à résoudre du type $\begin{cases} \dot{X} = A \cdot X + B \cdot U + B_b \cdot \varphi_{bob}^{-1}(\varphi_{bob}, x) + E \cdot \dot{U} \\ \dot{\varphi}_{bob} = -\frac{1}{N} \left(F \cdot X + G \cdot U + G_b \cdot \varphi_{bob}^{-1}(\varphi_{bob}, x) + H \cdot \dot{U} \right) \\ \dot{x} = v \\ \dot{v} = m_0 + m_1 \cdot x + m_2 \cdot v + m_3 \cdot F_{mag}(\varphi_{bob}^{-1}(\varphi_{bob}, x), x) \end{cases}$ dont les variables d'état à intégrer sont $\{X, \varphi_{bob}, x, v\}$ et l'ensemble est paramétré par un ensemble de paramètres p Pour avoir la sensibilité formellement exacte, une solution est d'intégrer le système global comportant les variables d'état $\left\{ X, \varphi_{bob}, x, v, \frac{\partial X}{\partial p}, \frac{\partial \varphi_{bob}}{\partial p}, \frac{\partial x}{\partial p}, \frac{\partial v}{\partial p} \right\}, \text{ en intégrant simultanément, avec le système d'équations différentielle précédent, le système suivant :}$	<i>Actionneur linéaire</i>	Voir la thèse de B. du Peloux voir [DUP-06]

Tableau II.2 : Synthèse des travaux réalisés pour calculer le gradient de manière formellement exacte, autres que par approche de dérivation formelle d'expressions algébriques explicites – Ces approches sont classées en allant des problèmes les plus simples aux problèmes les plus compliqués

	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 X}{\partial t \partial p} = \frac{\partial A}{\partial p} \cdot X + A \cdot \frac{\partial X}{\partial p} + \frac{\partial B}{\partial p} \cdot U + B \cdot \frac{\partial U}{\partial p} + \frac{\partial B_b}{\partial p} \cdot \varphi_{bob}^{-1} + B_b \cdot \frac{\partial \varphi_{bob}^{-1}}{\partial p} + \frac{\partial E}{\partial p} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} + E \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial p} \\ \frac{\partial^2 \varphi_{bob}}{\partial t \partial p} = -\frac{1}{N} \left(\frac{\partial F}{\partial p} \cdot X + F \cdot \frac{\partial X}{\partial p} + \frac{\partial G}{\partial p} \cdot U + G \cdot \frac{\partial U}{\partial p} + \frac{\partial G_b}{\partial p} \cdot \varphi_{bob}^{-1} + G_b \cdot \frac{\partial \varphi_{bob}^{-1}}{\partial p} + \frac{\partial H}{\partial p} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} + H \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial p} \right) \\ \frac{\partial^2 x}{\partial t \partial p} = \frac{\partial v}{\partial p} \\ \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial p} = \frac{\partial m_0}{\partial p} + \frac{\partial m_1}{\partial p} \cdot x + m_1 \cdot \frac{\partial x}{\partial p} + \frac{\partial m_2}{\partial p} \cdot v + m_2 \cdot \frac{\partial v}{\partial p} + \frac{\partial m_3}{\partial p} \cdot F_{mag} + m_3 \cdot \frac{\partial F_{mag}}{\partial p} \cdot \frac{\partial \varphi_{bob}^{-1}}{\partial p} \end{array} \right.$ Nous survolons ici la démarche et les notations sur un exemple d'actionneur linéaire. Pour les détails voir [DUP-06]		
H°- Dérivation d'algorithmes	La dérivation de code permet de calculer le gradient d'algorithmes décrits par des programmes. Le principe consiste d'abord à créer le graphe de calcul créé par l'algorithme, puis à propager le calcul du gradient selon ce graphe : Cette approche permet d'accéder à un calcul de gradient formellement exact de tout calcul dérivable décrit par un algorithme		[WFR-16], [WFC-47], [WFC-55], [FIS-04], [DEZ-04], thèse en cours de E. Petre

Tableau II.2 : Synthèse des travaux réalisés pour calculer le gradient de manière formellement exacte, autres que par approche de dérivation formelle d'expressions algébriques explicites – Ces approches sont classées en allant des problèmes les plus simples aux problèmes les plus compliqués

En complément, on peut citer ici d'autres travaux comme [WFR-12], qui s'intéressent au problème de propagation de calcul de gradients dans un processus de calcul enchaînant des calculs élémentaires du type de ceux du tableau II.2.

Une recherche sur les méthodes d'aide à la création de modèles semi-analytiques pour le dimensionnement

Cette recherche vise à répondre à la limitation B°, celle de la disponibilité des modèles. Elle vise à y répondre en produisant des outils permettant au concepteur de créer des modèles semi-numériques et semi-analytiques aptes à fournir des modèles utiles pour les phases de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité. Il s'agit donc d'avoir des modèles, entre les modèles purement analytiques algébriques explicites que l'on manipulait dans l'approche PASCOSMA, et les modèles numériques que nous qualifierons de lourd dans le contexte du pré-dimensionnement et des études de faisabilité, à savoir les modèles de type éléments finis. Ces derniers impliquent en effet à la fois des temps de réponse longs, et une précision de description des dispositifs souvent incompatibles avec les phases de pré-dimensionnement et d'études de faisabilité auxquelles nous nous intéressons.

L'originalité de chacune des approches développées est non seulement d'automatiser la génération du modèle semi-analytique, mais de fournir le calcul de gradient formellement exact en utilisant les résultats et approches synthétisées dans le tableau II.2. Ceci en fait donc des modèles fournissant le maximum d'information pour une utilisation dans un cadre de dimensionnement en utilisant des techniques d'optimisation : on peut ainsi parler de modèles pour le dimensionnement.

Dans ce cadre, le tableau II.3 synthétise un certain nombre d'approches qui ont été explorées. A noter que le savoir faire développé par ces approches pourrait permettre a présent de faire des travaux similaires avec des modèles par schémas équivalents en thermique, en hydraulique, en mécanique.

Toutes ces approches ont en commun de permettre au concepteur d'entrer directement un formalisme de haut niveau, tel qu'un circuit équivalent, voire une structure.

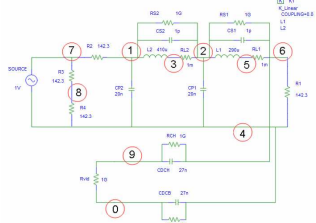
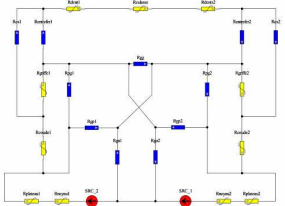
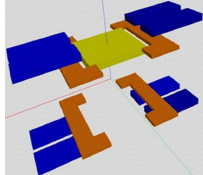
Objectifs de l'approche semi-analytique	Type de données à fournir à l'approche	Descriptif de la méthode de calcul	Méthode pour calculer le gradient de façon formellement exacte (cf. tableau 2.2)	Type de grandeur calculée	Applications	Références
Dimensionnement de circuits passifs dans le domaine fréquentiel	Un circuit 	Mise en équation par une méthode dite « Méthode des potentiels aux nœuds »	E° - Dérivation de fonctions implicites linéaires	Impédances, gain	Dimensionnement de filtres passifs pour les applications ADSL	Thèse D. Duret, soutenance prévue fin 2007, [WFC-29], [WFC-66]
Dimensionnement de dispositifs électromagnétiques	La topologie d'un réseau de réductances 	Méthodes des réseaux de réductances	D° - Dérivation de fonctions implicites non linéaires	Flux magnétiques, forces magnétiques	Actionneurs linéaires, alternateurs, ...	Thèse B du Peloux [DUP-06], [WFR-21], [WFC-9] [WFC-48] [WFC-54] [WFC-65]
Dimensionnement de dispositifs électromagnétiques	Un ensemble d'aimants et de conducteurs disposés dans l'espace 	Méthodes par moments dipolaires	F° - Dérivation de calcul d'intégration numérique	forces magnétiques	Micro-systèmes magnétiques	Thèse L. Rakotoarison, [WFR-19], [WFR-20], [WFC-41], [WFC-49], [WFC-50], [WFC-51], [WFC-52]

Tableau II.3 : synthèse des travaux réalisés pour fournir des générateurs de modèles semi analytiques aptes à fournir des modèles pour les phases de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité

Une recherche sur les architectures d'outils et de plates-formes

Cette recherche vise à répondre aux limites C° (Problèmes d'interopérabilité) et D° (Problèmes de changement d'algorithmes d'optimisation).

PASCOSMA pêchait par son architecture et ne répondait pas aux besoins de modularité. Ainsi il n'y avait pas dans les applications métiers générées de séparation du modèle et de l'algorithme d'optimisation, ce qui impliquait :

- pas de possibilité de composer les modèles entre eux,
- pas de possibilité de lier le modèle avec un autre algorithme d'optimisation
- pas de possibilité d'interopérabilité, donc pas de possibilité de lier les modèles contenus dans les applications avec d'autres modèles de type éléments finis par exemple, ou pas de possibilité de ré-utiliser les modèles générées dans des outils de simulation système comme Mathlab/Simulink (commercialisé par Mathsoft), Amesim (commercialisé par Imagine) ou encore Portunus (commercialisé par Cedrat). Ceci rendait impossible des couplages de modèles multi-physiques ou multi-niveaux de modélisation.

Tout un ensemble de travaux ont été initiés pour offrir une solution à ces problèmes. Ils sont synthétisés dans le tableau II.4.

	Description du problème	Application traitée	Références
Environnement pour le pré-dimensionnement et les études de faisabilités	L'ambition était de réfléchir à une nouvelle plate-forme logicielle permettant de gérer les modèles sous forme d'objets de calcul que l'on pouvait composer entre eux et connecter à des algorithmes de calcul, de propagation de contraintes et de dimensionnement par optimisation	Machine synchrone à aimants	Thèse C. Coutel [COU-99], [WFC-17], [WFC-20]
Réalisation d'un environnement multi-outils et multi-physiques	L'ambition était de réfléchir à des architectures de plate forme permettant de faire inter-opérer différents outils impliqués dans un processus de dimensionnement en Génie Electriques	Contacteur	Thèse B. Bel Habib [BEL-00], [WFC-16], [WFC-21]
Réalisation d'un environnement à base de composants logiciels	L'ambition était de réfléchir à des plates-formes utilisant le concept de composants logiciels.	Transformateur	Thèse B. Delinchant [DEL-03], [WFR-12] [WFR-13], [WFR-14], [WFR-23], [WFC-15], [WFC-22], [WFC-23], [WFC-25], [WFC-26], [WFC-35], [WFC-39], [WFC-40], [WFC-41], [WFC-60], [WFC-61], [WFO-02]

Tableau II.4 : synthèse des travaux réalisés sur les nouvelles architectures d'outils et de plate-formes pour la conception

Nous n'entrerons ici pas plus avant dans le détail des premières générationS de ces travaux. Nous allons plutôt présenter dans les parties qui vont suivre la dernière génération de

plate-forme logicielle élaborée qui est le stade actuel de concrétisation de tous ces travaux antérieurs. Celle-ci est basée sur l'utilisation du concept de composant logiciel, qui offre une solution pour aller vers une réelle modularité et une réelle inter-opérabilité entre modèles et entre services utilisant des modèles pour faire de l'optimisation par exemple.

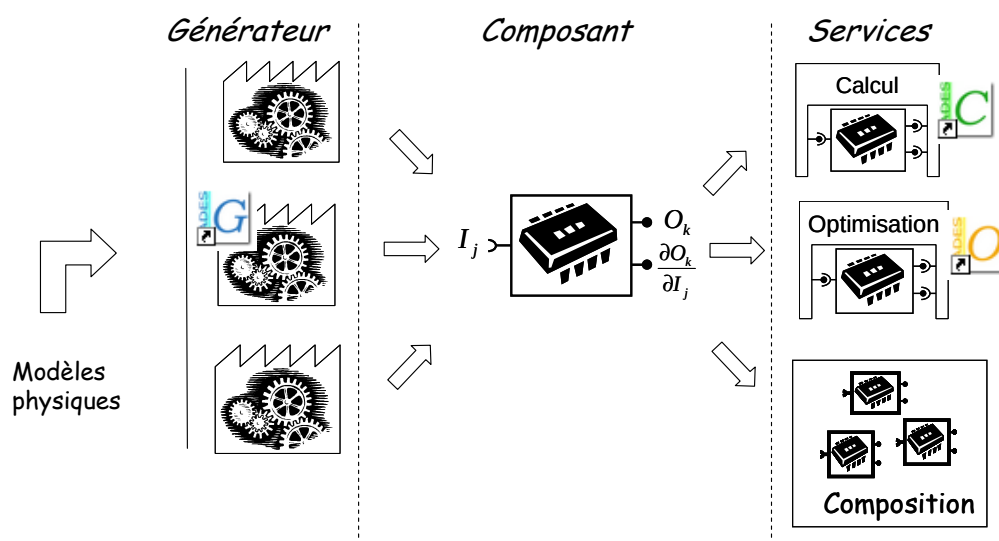
II.b.3 Vers une approche de plate-forme à base de composants logiciels

II.b.3.a Structuration de la dernière génération de plate-forme proposée – CADES : un framework générateurs – composants logiciels – services

Les travaux réalisés au cours de ces dernières années sont synthétisés et capitalisés dans la plate-forme CADES. CADES est l'acronyme de "Component Architecture for the Design of Engineering Systems" puisqu'il s'agit effectivement d'une architecture à base de composant logiciel pour instrumenter la conception de systèmes d'ingénierie.

Commençons par dire que CADES n'est pas un environnement logiciel au sens classique du terme comme peuvent l'être les outils à présent classiques en Génie Electrique comme flux, Mahtlab/Simulink, Saber ou Spice.

CADES est plutôt un framework, c'est-à-dire une architecture à base de composants logiciels au sens où cela a été défini dans [DEL-03]. Ces composants logiciels peuvent avoir été créés avec des langages et des environnements différentes et hétérogènes. Le framework définit en fait des processus et des connexions standardisées permettant une utilisation cohérente de ces composants logiciels. La figure II.7 donne la structure de ce framework, centré autour du composant logiciel contenant les modèles physiques des composants et des systèmes à dimensionner ou à analyser.



CADES: Un framework ouvert

Component Architecture for Design of Engineering Systems



- V1.0: Un framework de base



Figure II.7: CADES – Un framework ouvert pour le dimensionnement et l'analyse système

Ce framework vise à faire utiliser de façon cohérente [WFC-35], [WFC-61], [WFR-23]:

- des **générateurs** de composants logiciels : ceux-ci permettent au concepteur de décrire les modèles physiques des systèmes qu'il a à concevoir, puis ces modèles sont encapsulés dans des composants logiciels.
- des **composants logiciels** qui contiennent les modèles des dispositifs ainsi que le calcul de sensibilité des modèles, lorsque celui-ci est disponible (soit le calcul des $\partial S_j / \partial E_i$ avec S_j les sorties du modèle et E_i les entrées du modèle).
- des **services** (ou utilisateurs de composants) qui vont utiliser les composants logiciels contenant les modèles pour offrir des services utiles dans les phases de pré-dimensionnement et d'études de faisabilité, tels que des services de simulation, d'optimisation, de tolérancement, ...

Pour finir nous dirons que la version actuelle de CADES comprend plusieurs niveaux de déploiement :

- D'abord ce que nous appelons CADES V1.0 qui comprend un générateur, un service de calcul et d'optimisation de base.
- Puis ce que nous appelons le framework étendu comprenant tout un ensemble de composants logiciels qui peuvent s'interconnecter via le framework.

II.b.3.b Un framework s'appuyant sur le concept de composants logiciels

Définition du concept de composant logiciel

Le composant logiciel est un paradigme d'approche du développement logiciel qui vise à rendre disponible des composants logiciels sur étagères comme cela peut être le cas en électronique. D'un point de vue ingénierie informatique, la définition qu'on peut apporter au concept de composant logiciel est la suivante :

*Le **composant logiciel** est défini comme une entité autonome de déploiement [SZY-98], qui encapsule des codes informatiques, et qui décrit par des interfaces les interactions qu'il autorise avec d'autres composants*

Les composants logiciels se présentent donc comme des boîtes exécutables et réutilisables. De plus en plus de normes sont définies pour standardiser ces composants (Java Bean, composants CORBA, composant ActiveX, composants DCOM, ...) [CHAU-97], [ORF-98] et les rendre inter-opérables, voire composables, mêmes s'ils ont été développés dans des langages et/ou des systèmes d'exploitation différents.

D'un point de vue ingénierie de programmation, une réutilisation à base de composants propose une vision différente de celle associée à la notion d'objet [MEI-97], [SZY-98]. La principale différence vient d'une définition plus claire et plus sûre de ce que peut faire le composant et de ce qu'il requiert pour fonctionner, alors qu'un objet peut utiliser des services externes sans avoir à le spécifier, pouvant conduire à des réutilisations non sécurisées (cf. figure II.8).

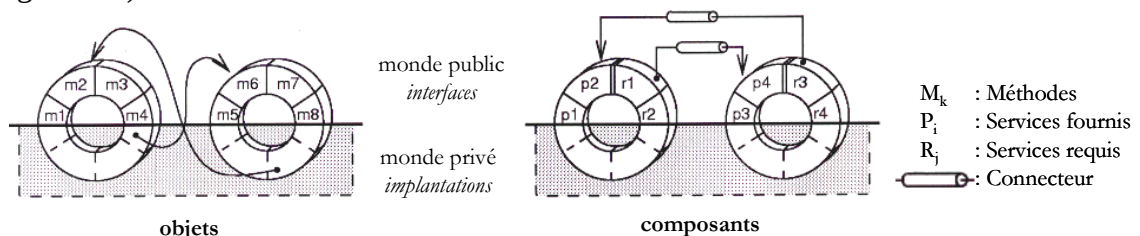


Figure II.8: Une différence entre la programmation objet et la programmation composant : tandis que les objets peuvent avoir entre eux des liens cachés les rendant peu ou pas ré-utilisables (utilisation de services extérieures à l'objet sans que cela soit spécifié, cf. illustration sur la figure de gauche), le composant définit explicitement, via notamment ses interfaces, les services qu'il requiert pour fonctionner (figure de droite), en faisant ainsi une entité autonome et ré-exploitable

Dans l'architecture que nous proposons, un composant est une unité de composition [BARB-02], créée dans un contexte déterminé d'une architecture de composants, pour y être connectée à d'autres entités [MEI-97].

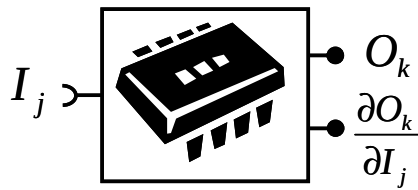
La dimension nouvelle dans le concept de composant logiciel est qu'il fait l'objet de standards, de définitions de protocoles d'inter-opérabilité comme CORBA, définies dans des consortiums de normalisation tels que l'OMG (<http://www.omg.org>) qui permettent de faire dialoguer les composants même s'ils sont écrits dans des langages et tournent sur des systèmes d'exploitation différents [JUR-00]. On capitalise une implémentation et on peut donc espérer éviter les problèmes inhérents au fait de devoir en développer de nouvelles. Tout ceci permet d'espérer une certaine pérennité de fonctionnement et d'usage. Par ailleurs les standards de composants offrent des solutions technologiques pour faire du packaging : le composant logiciel se présente comme un fichier unique (fichier jar dans la norme Java-Bean par exemple) qui contient tous les éléments informatiques dont le composant a besoin pour s'exécuter [CHAU-97], [ORF-98]. On peut dans ce package rajouter toutes informations et tous les fichiers supplémentaires nécessaires et utiles pour garantir une bonne capitalisation.

Des composants logiciels pour contenir les modèles des composants et des systèmes du génie électriques

La figure II.9 donne un aperçu du composant logiciel que nous avons défini dans CADES dans sa version 1.0 et qui est destiné à contenir des modèles pour le dimensionnement. En reprenant une technologie Java (Type java Bean [CHAU-97], [ORF-98]), nous avons pu définir un type de composant qui [WFC-60] :

- offre des interfaces bien définies pour fixer les paramètres d'entrée du modèle, calculer les paramètres de sortie et faire un calcul de sensibilité (voir le graphe UML disponible sur la figure 2.9),
- permet de contenir (ou encore d'encapsuler) du code de calcul en java, un programme autonome ou exécutable, des bibliothèques de calcul en C, C++, fortran avec des données associées,
- permet d'empaqueter (ou de « packager ») le tout sous un fichier unique (fichier au format « zip »),
- offre un mécanisme de déploiement standardisé.

Représentation



Interface (ou facette) bien définie

- fixer les paramètres d'entrée du modèle
- calcul des paramètres de sortie du modèle
- calcul de sensibilité (Jacobien)

Peut contenir:

- Un programme java
- Un programme exécutable autonome
- Dll (programme C, C++, Fortran, ...)
- Encapsuler un code de calcul lourd
- Des données
- ...

Technologie et implantation

- Composant Java (~ Java – Bean)
- JDK 1.5
- Packaging normalisé: Fichier Jar (=archive zippée, ...)
- Déploiement et point d'accès normalisé

Norme Composant CADES V1.0

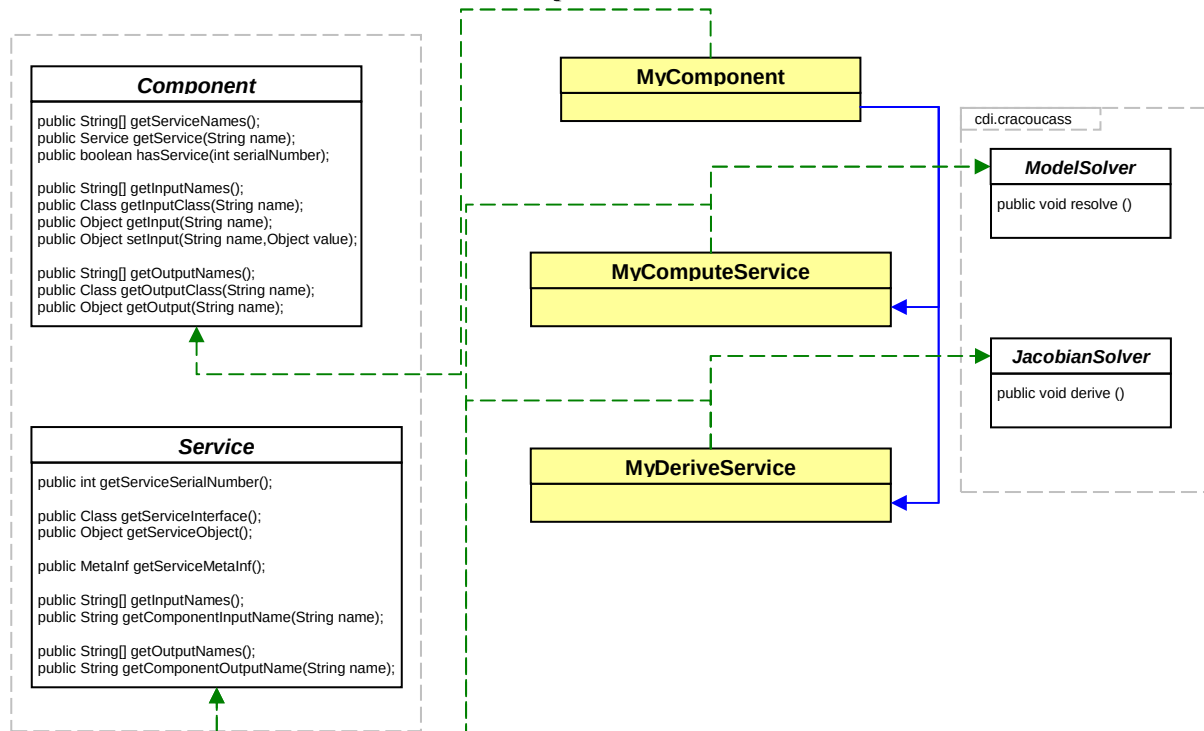


Figure II.9: La norme de composant V1.0 proposé dans CADES destiné à contenir des modèles pour le dimensionnement – Description des caractéristiques techniques, graphe UML des services standardisés disponibles pour le calcul et le calcul de sensibilité

D'autres utilisations du concept de composant logiciel

A noter, même si nous ne le détaillerons pas ici, nous avons aussi fait des expériences de composants logiciels pour d'autres finalités : des composants logiciels contenant des tâches de conception [WFC-35], des algorithmes d'optimisation [WFC-61], [WFR-23], de la visualisation graphique [WFC-61], [WFR-23].

II.b.3.c Les générateurs de composants logiciels du framework

L'idée de ces générateurs est de pouvoir permettre au concepteur de décrire des modèles de composants et de systèmes du génie électrique dans un formalisme proche de sa culture. Le générateur prend ensuite en charge les aspects rébarbatifs :

- de programmation de ces modèles
- de programmation du calcul de sensibilité des modèles
- de mise en forme de tout cela dans un composant logiciel.

L'originalité des travaux réside ainsi dans le fait:

- d'assurer automatiquement la programmation automatique des modèles,
- de mettre en œuvre toutes les approches permettant de générer le calcul de sensibilité des modèles par des approches formellement exactes en réutilisant les résultats synthétisés dans le tableau II.2: ceci nous offrira le maximum d'information sur la sensibilité du modèle, ce qui est primordial dans les phases de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité où nous pouvons avoir un grand nombre de paramètres et de contraintes à gérer,
- de développer des générateurs mettant en œuvre des modèles adaptés pour le pré-dimensionnement, les études de faisabilité avec une vision macroscopique. Il s'agit de modèles analytiques, ou semi-analytiques (réseaux de réluctances, méthode des moments magnétiques, ...) exploitant les approches dont le tableau II.3 fait la synthèse. Ceci est original dans la mesure où il existe actuellement, peu ou pas du tout de logiciel assistant le concepteur pour générer des modèles utilisant ce type d'approche.

Nous allons détailler les différents types de générateurs qui ont été mis au point.

Générateurs pour modèles analytiques

L'ambition de ce générateur est d'offrir un générateur pour décrire des modèles analytiques et semi-analytiques.

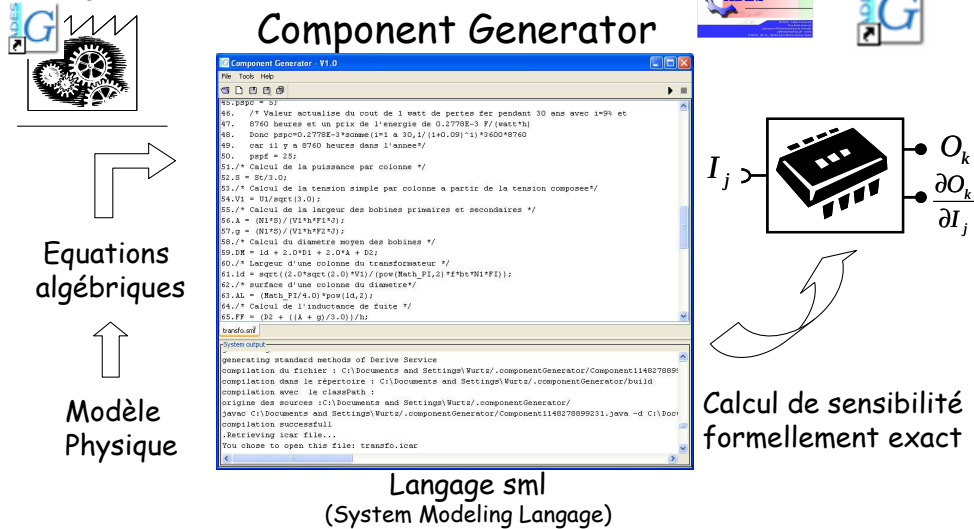
Ce générateur va donc permettre de décrire les modèles par un langage déclaratif, en donnant accès à des opérateurs analytiques (les fonctions classiques de type +, -, *, /, sin, cos, ...) et des opérateurs semi-analytiques (intégrales, inversions de systèmes, ...). Pour cela, ce générateur va offrir [DUR-06] :

- un langage de description des modèles analytiques et semi-analytiques : le sml langage (pour System Modeling Language),
- des fonctionnalités de « parsing », à savoir d'analyse du modèle fourni de façon déclarative grâce au sml langage,
- des fonctionnalités d'ordonnancement, pour retrouver les séquences de calcul à construire pour créer un code de calcul correspondant au modèle déclaré (voir notamment la thèse de L. Allain qui détaille ces aspects [ALA-03])
- des fonctionnalités de projection dans un langage de programmation du modèle analysé
- des fonctionnalités de dérivation des modèles utilisés (en ré-utilisant notamment les résultats du tableau II.2) et en utilisant des algorithmes de propagation des calculs de gradient
- des fonctionnalités de création du composant logiciel bien formé (en respectant les standards et les normes) qui contiendra l'ensemble [DUR-06].

La dernière génération de ce type de générateur de ce type est fournie dans le framework de base CADES V1.0 et s'appelle ComponentGenerator. Il est en constante évolution, et permet de capitaliser des travaux issus d'un collectif de chercheurs permanents (comprenant B. Delinchant, L. Gerbaud, L. Estrabaut et moi-même) et de thésards qui contribuent à le développer. Ainsi, l'ensemble des résultats issus des tableaux II.2 et II.4 sont déjà intégrés, ou sont en passe de l'être, ainsi que des contributions d'autres chercheurs (via les contributions de thésard que j'ai directement encadré comme D. Duret, P. Enciu, B. du Peloux... et d'autres thésards comme L. Rakotoarison, L. Allain ou V. Fischer).

Description de framework de base CADES V1.0

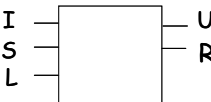
Component Generator



Sens de calcul donné implicitement par l'utilisateur:

$$U = R \times I$$

$$R = \rho \times S / L$$



Possibilité d'importer:

- des fonctions extérieures
- des composants

Figure II.10: Le générateur de composants logiciels proposé dans CADES V1.0 à partir de modèles physiques décrits par des équations analytiques (ou algébriques) et des modèles semi-analytiques

A côté du générateur dit de base, ayant vocation à générer des modèles saisis déclarativement sous forme d'équations, le framework CADES a vocation à intégrer des générateurs permettant de décrire des modèles avec d'autres niveaux de formalismes. A ce titre, des formalismes adaptés pour créer des modèles de dimensionnement sont des modèles à base de circuit équivalent. Nous allons brièvement passer en revue trois travaux qui ont été développés dans ce cadre.

Générateurs pour circuits électriques passifs

Ces travaux ont pour objet de développer un générateur permettant de décrire des schémas comportant des composants électriques passifs du type inductance, résistance et condensateur. Ceci doit permettre de générer des composants logiciels permettant de dimensionner des circuits électriques. Les applications peuvent concerner le filtrage en télécommunication, le filtrage de puissance (lisser des harmoniques indésirables, le filtrage en compatibilité électromagnétique ...). Ce générateur est développé dans le cadre de la thèse de D. Duret, en lien avec la société Microspire (57 – Thionville). L'objectif dans cette thèse est de générer plus particulièrement des modèles pour le dimensionnement de filtres pour les applications ADSL-internet. Les méthodes mises en œuvre sont décrites dans la première ligne du tableau II.3 et leur mise en œuvre est illustrée sur la figure II.11..

CADES: Le framework étendu et ouvert

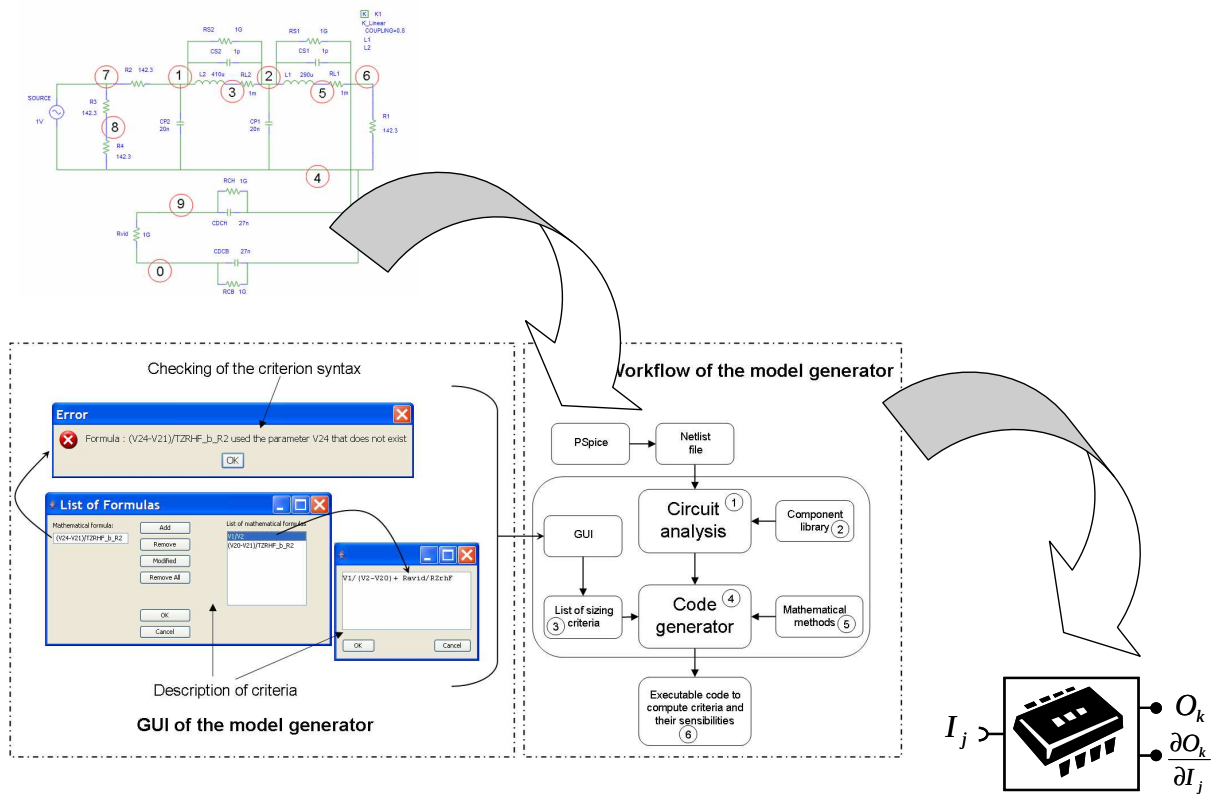


Figure II.11: Le générateur de composants logiciels développé dans la thèse de D. Duret pour générer des composants logiciel pour le dimensionnement de circuit électriques passifs – Application au dimensionnement de filtres pour application de type Télécommunication

Générateurs à base de réseaux de réluctances

Ces travaux ont pour objet de développer un générateur permettant de décrire des modèles par des Réseaux de Réluctances [ROT-41]. Ce formalisme permet de décrire le fonctionnement de circuits magnétiques en faisant une équivalence avec des circuits électriques [DUP-06], [ALB-04]. Cette approche, qui a donné lieu à la thèse de B. du Peloux est décrite dans la deuxième ligne du tableau II.3 et a donné lieu à la réalisation du générateur de composant Reluctool³. Il est à noter que Reluctool a été développé en collaboration avec la société Schneider Electric, en vue de disposer du formalisme Réseau de Reluctance pour avoir des composants logiciels pour dimensionner et simuler des actionneurs et des capteurs utilisés dans les disjoncteurs. Le haut de la figure II.12 donne un aperçu du logiciel Reluctool. Plus généralement, comme cela est rappelé sur la figure II.12, ces recherches donnent les bases pour créer toute une famille de générateur permettant de rentrer des modèles semi-analytiques à partir de circuits pour générer :

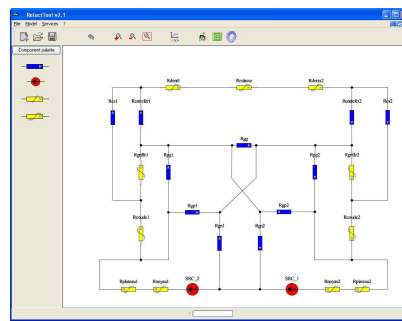
- des composants logiciels pour le dimensionnement,
- à la fois standardisé (ce qui est original),
- et disposant en plus des fonctionnalités de calcul (ce qui est classique avec ce type de formalismes), des fonctionnalités de calcul de sensibilité formellement exact (ce qui est original, d'autant que la résolution de ces circuits est implicite et non linéaire que ce soit pour les régimes statiques ou dynamiques [WFC-65], ce qui nécessite l'ensemble des recherches synthétisés sur la deuxième ligne du tableau II.3).

³ : Ce logiciel connaît à présent une version industrielle déployé chez Schneider Electric et maintenue par la société CEDRAT.

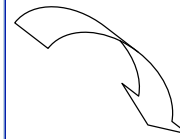
CADES: Le framework étendu et ouvert

Circuits
(Électriques,
Hydrauliques, ...)

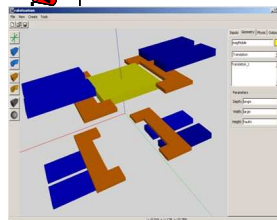
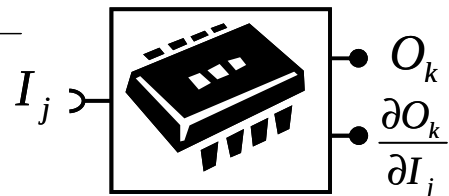
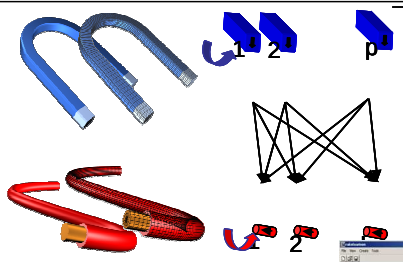
Réductool: réseaux
De réluctances



Les générateurs de
Composants à partir de
Formalismes métiers



Approche par
Moments magnétiques



...

Figure II.12: Les générateurs de composant logiciels « modèles pour le dimensionnement » partant de formalismes métiers de « haut niveau » - La partie supérieure est le générateur Reluctool de composant logiciel à partir de réseaux de réluctances, ouvrant la voie à la familles des générateurs de modèles semi-analytiques à base de circuits. La partie inférieure est le générateur partant de structures comportant des aimants et des conducteurs dont les interactions sont calculées par la méthode des moments dipolaires

Générateurs à base d'approches par moments dipolaires

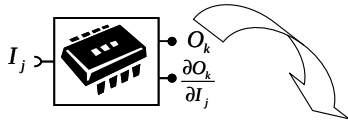
Ce générateur permet d'utiliser le formalisme semi-analytique à base de la méthode des moments dipolaires. Cette approche et les références attenantes sont décrites dans la 3ème ligne du tableau II.3. Elle permet de saisir directement des structures comportant des aimants et des conducteurs pour en calculer les interactions de type forces. Issus de travaux théoriques préexistant [DEL-93], nous l'avons reprise dans les masters de H. Chetouani [CHE-04], ainsi que le master [RAK-04] et la thèse de L. Rakotoarison pour réaliser un générateur de composant logiciels. Le bas de la figure II.12 donne un aperçu du logiciel qui en résulte.

II.b.3.c Les services utilisateurs de composants logiciels du framework

Le service de calcul

Ce service est un service de base. Il permet de venir connecter (ou « plugger ») le composant logiciel contenant le modèle. Sont alors accessibles les services de Calcul, de Tracé de courbes et de Calcul de Sensibilité comme cela est illustré sur la figure II.13

Description de framework de base CADES V1.0



Component Calculator

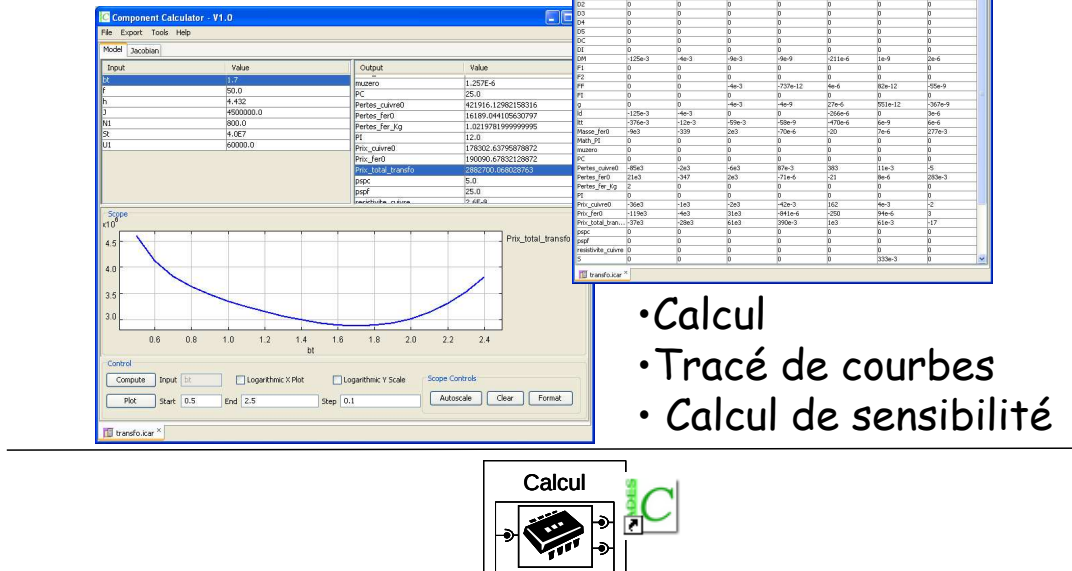


Figure II.13: Le service de calcul proposé par le framework CADES – On y connecte le composant pour accéder aux services de calcul

Le service d'optimisation

L'optimiseur de CADES (ou ComponentOptimizer) répond au besoin de pouvoir connecter le modèle, avec son calcul de sensibilité associé, aussi vite que possible à un algorithme d'optimisation [WFC-64]. Ces algorithmes d'optimisation sont eux-mêmes contenus dans des composants logiciels, proposant ainsi une architecture composant pour un optimiseur mis au point dans la thèse de D. Magot [MAG-04] et que nous continuons à développer dans la thèse de N'Guyen H. H. L'optimiseur met ainsi à disposition différents algorithmes d'optimisation :

- des algorithmes de type gradient du type SQP (Sequential Quadratic Programing déjà utilisé dans l'approche PASCOSMA [WFT-96])
- des algorithmes génétiques
- des approches de type Paréto
- des approches de type Branch and Bound
- on peut même faire de la composition d'algorithmes d'optimisation par composition des composants contenant ces algorithmes [WFC-64]

Dès que le composant contenant le modèle et le composant contenant l'algorithme d'optimisation ont été chargés dans l'optimiseur, celui-ci offre les fonctionnalités que l'on est droit d'attendre d'un optimiseur :

- la possibilité de définir des contraintes sur les paramètres d'entrée et de sortie du modèle
- la définition de la fonction objectif à minimiser ou à maximiser (des approches multi objectifs peuvent être gérées aussi grâce notamment à des approches de type Paréto [MAG-04])
- la possibilité de démarrer l'optimisation et de tracer l'évolution de paramètres au cours du processus.

La figure II.14 donne un aperçu du fonctionnement de cet optimiseur.

Description de framework de base CADES V1.0

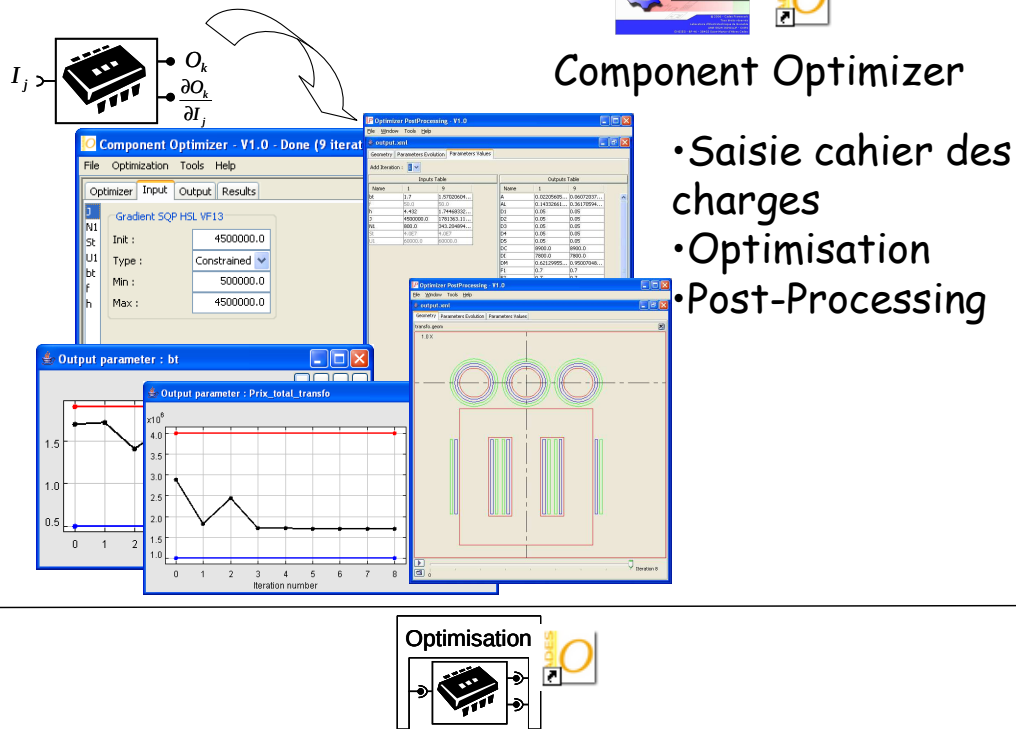


Figure II.14: Le service d'optimisation proposé par le framework CADES

Le service de composition

De façon expérimentale, nous avons testé les possibilités de composition des composants logiciels. Ceci a été testé notamment dans la thèse de Benoit Delinchant [DEL-03] grâce au développement d'un compositeur dont la figure II.15 donne un aperçu. Le fonctionnement de cet outil appelé Visual Composer est aussi détaillé dans [WFR-13].

Pour les composants de calcul

Le composeur

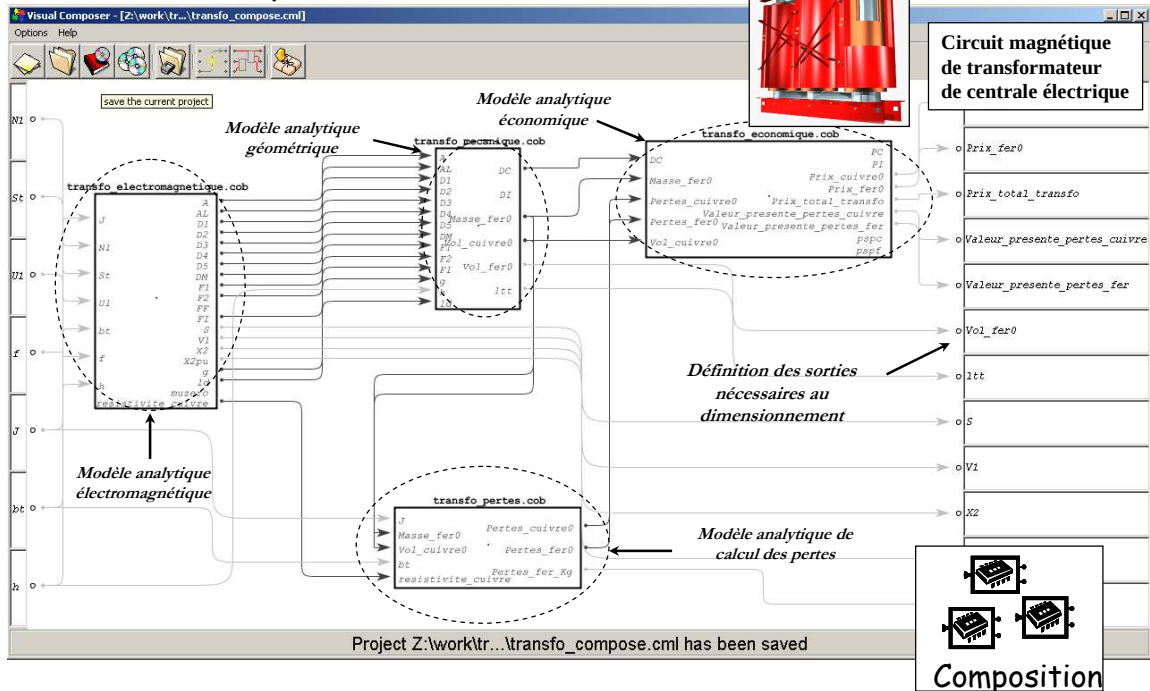


Figure II.15: Un outil de composition de composant logiciels (Issu de la thèse de B. Delinchant [DEL-03]) –

Aussi un modèle global de transformateur est réalisé par composition d'un modèle électromagnétique, géométrique, économique et de calcul de pertes – Les approches composant offrent ainsi un moyen de passer du composant au système par les mécanismes de composition

II.b.3.d Quelques concepts utiles autour des composants et des frameworks

Au delà des outils que nous avons développés pour nos besoins de recherche en interne autour du framework CADES, l'intérêt de l'approche framework est de permettre une interopérabilité avec des environnements de modélisation et de calcul préexistants.

Comme cela est illustré sur la figure II. 16, et comme nous allons l'expliquer par la suite, cela est rendu possible grâce au concept d'encapsulation et grâce au concept de plug'in.

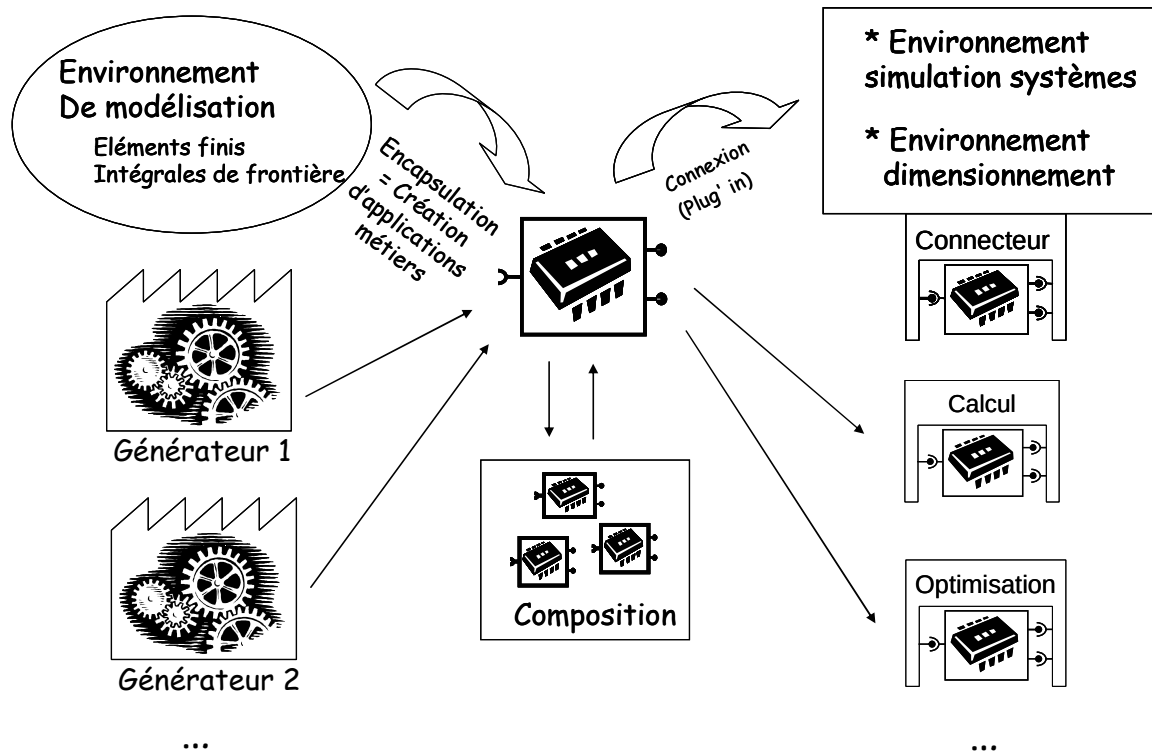


Figure II.16: Les environnements pré-existants trouvant leur articulation avec un framework comme CADES via 2 concepts : l'encapsulation et le plug'in

Le concept d'encapsulation

Ainsi, le fait d'intégrer des outils de calcul préexistants peut se faire grâce au concept d'encapsulation. L'idée est d'intégrer dans un composant logiciel le solveur du code de calcul pré-existant avec les données du modèle, l'ensemble constituant un composant exécutable que l'on peut intégrer dans le framework.

J'ai ainsi directement encadré le Master de K. N'Guessan [NGU-04], [WFC-44], dans lequel un composant logiciel a été créé pour encapsuler un modèle de simulation d'un actionneur de disjoncteur qui été développé dans le logiciel de simulation Scilab (voir <http://scilabsoft.inria.fr/>).

Dans cet esprit nous travaillerons à l'encapsulation sous forme de composants logiciels des applications métiers qui sont développées autour des logiciels comme Flux [SOU-05] : ce sont typiquement des applications contenant les données d'un modèle d'un dispositif particulier (moteur, actionneur, ...) avec le moteur de résolution élément fini du logiciel flux.

Le concept de connection de type « plug'in »

Le concept symétrique à celui d'encapsulation est celui de connection de type Plug'In. C'est le concept consistant à dire qu'un composant logiciel doit pouvoir être connecté via un connecteur dans un environnement de calcul ou d'optimisation préexistant. Les approches composant permettent techniquement de réaliser cela. Ainsi les composants logiciels que nous générons dans l'environnement CADES peuvent être connectés dans l'environnement Matlab/Simulink comme l'illustre la figure II.17. Ceci est techniquement possible, car les composants logiciels offrent des couches d'inter-opérabilité permettant de les appeler à partir d'un environnement dans lequel il n'aurait pas été développé [CHAU-97].

CADES: Le framework étendu et ouvert

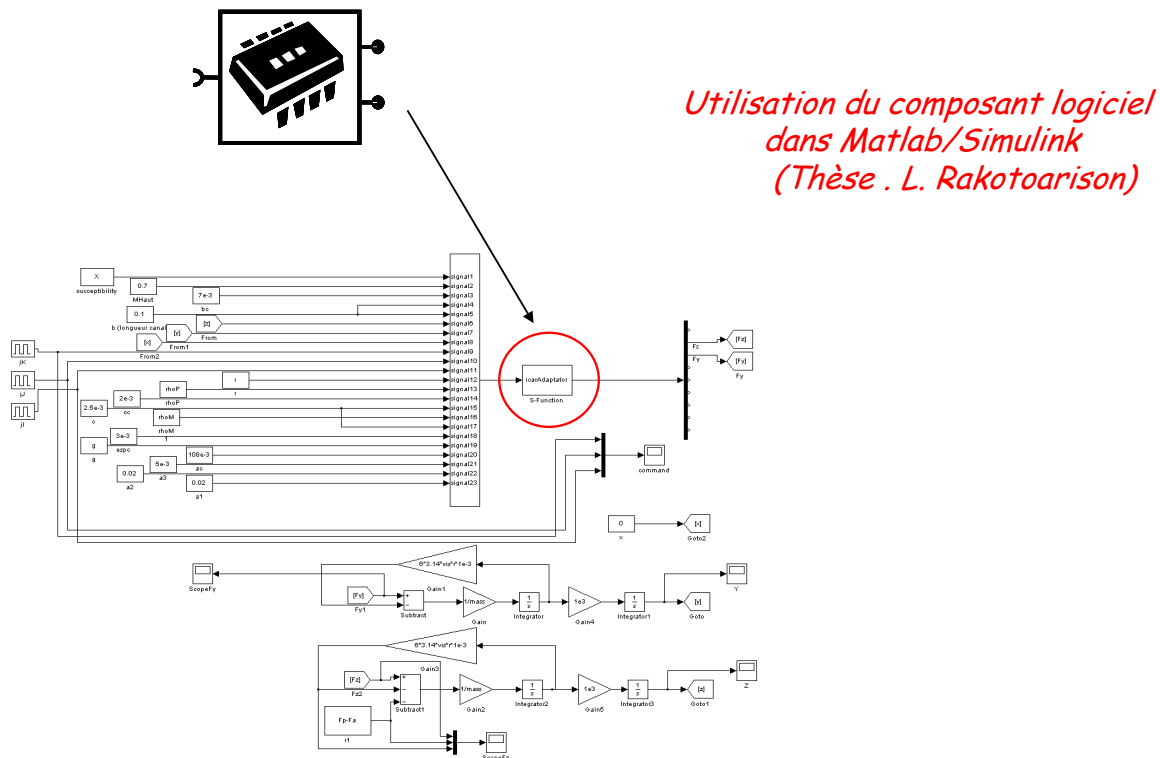


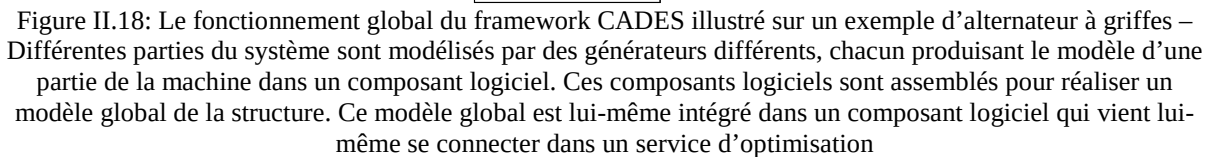
Figure II.17: La connection de type Plug'in d'un composant logiciel contenant un modèle issu du framework CADES – Ici un connecteur a été développé dans la thèse de L. Rakotoarison permettant de connecter le composant dans l'environnement de simulation système Matlab/Simulink

II.b.3.e Synthèse des apports des framework à base de composants logiciels

Un aperçu de l'utilisation globale du framework

Pour finir sur le framework CADES, la figure II.18 donne un aperçu d'une utilisation typique du framework pour aboutir à l'optimisation d'un système comme un alternateur à griffes utilisé dans l'automobile. Cette application est reprise de la thèse de L. Albert [ALB-04].

Alternateur



Le résultat idéal final que l'on peut atteindre

Les systèmes mécatroniques, à l'instar d'une automobile, d'un avion, voire même d'un bâtiment sont des systèmes créés par assemblage de composants physiques. Ainsi une automobile va être réalisée par assemblage des systèmes pour la direction assistée, l'injection, le freinage, ... ces mêmes systèmes étant eux-mêmes un assemblage de composants plus basiques (électronique de puissance, actionneur électromécanique, commande ...).

Les différents acteurs gravitant autour doivent pouvoir s'échanger, ou se donner accès au composant logiciel modélisant le composant ou le système physique qu'ils conçoivent ou qu'ils fabriquent: ainsi le fabricant de moteurs donnera accès à son modèle de moteur au fabricant de drive, qui lui-même donnera accès à son modèle de drive au fabricant de l'automobile.

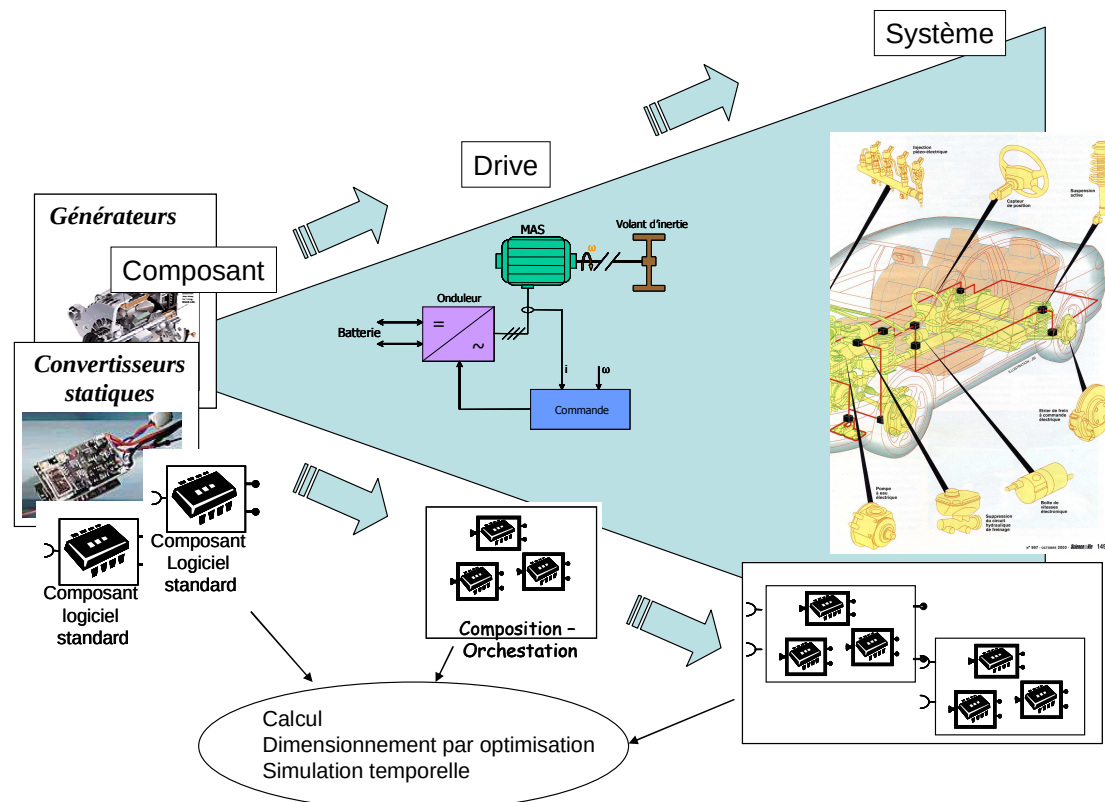


Figure II.19: Le résultat final idéal auquel nous pourrions accéder avec des frameworks à base de composants logiciels - Les composants physiques ont leur équivalent logiciel sous forme de composants logiciels standardisés que l'on peut composer et orchestrer quel que soit l'environnement avec lequel ils ont été développés en vue de réaliser le calcul, le dimensionnement par optimisation et la simulation temporelle des dispositifs – L'approche composant offre ainsi une approche pour passer du composant au système en réutilisant des composants logiciels standardisés de composants

L'originalité

Il existe déjà des solutions industrielles, ou en phase de recherche avancée, permettant d'aller des modèles de composants aux modèles de systèmes pour le calcul ou l'optimisation :

- il s'agit d'environnement utilisant des bibliothèques de composants de base en génie électrique et en mécanique (Scilab, Matlab/Simulink, Amesim, Portunus, ...). La limite est que chaque environnement propose sa propre implantation de composant, et l'interopérabilité et la distribution des composants reste problématique
- des standards d'échange de fichiers se mettent en place tel que modelica, VHDL-AMS, ... Ces approches sont indispensables, mais comportent aussi des limites, comme la nécessité de rendre le modèle explicite dans le langage, ce qui peut poser des problèmes de confidentialité, ou ne donne pas accès au fait de s'échanger un code exécutable et validé sous forme de boîte noire ...

En complément de toutes ces approches, l'approche originale que nous souhaiterions développer est l'échange des composants logiciels, offrant des services standardisés pour le calcul, le dimensionnement et la simulation système. L'idée est de reprendre les approches composants logiciels [CHAU-97], [ORF-98], et les architectures SOA (Services Object Architecture) [BAR-03] ou SCA (Service Component Architecture)⁴, utilisant des composants offrant des services pour développer des systèmes d'information. Ces composants pourront ainsi contenir des implémentations boîtes noires auxquelles on accèdera via des services, sans

⁴ : voir aussi les articles « Services Oriented Architecture » et « Component Oriented Architecture » sur l'encyclopédie wikipedia, définissant ces nouveaux paradigmes en informatique et donnant toutes les références utiles

empêcher des services optionnels de description du contenu des modèles par renvoi d'information standardisée (modelica, VHDL-AMS, ...).

Les verrous à faire sauter :

Il faut arriver à réunir une masse critique :

- d'éditeurs industriels et de créateurs universitaires de logiciels offrant des solutions soit :
 - o pour créer des modèles de composants,
 - o d'outils d'assemblage de ces composants pour simuler ou optimiser.
- d'industriels et d'universitaires de la mécatronique, concepteurs et fabricant de composants ou de systèmes apportant leurs applicatifs comme terrain de validation et d'expérimentation et leurs compétences pour définir et adopter un standard ouvert et commun de composants répondant aux besoins précis du calcul, du dimensionnement et de la simulation temporelle.

Les perspectives et enjeux de recherches à court et moyens termes

Dès lors, les enjeux à courts et moyens termes sont :

- Pour l'aspect composant logiciels, proposer des standards de composants métier
 - o Pour la capitalisation et réutilisation de composants,
 - o Pour la généralisation des applications métiers,
 - o Pour le pré-dimensionnement mais aussi l'analyse système,ce qui ouvrira aussi la voie aux applications réparties sur le web, accessibles par services via des architectures SOA, en vue notamment du calcul parallèle.
- Pour les générateurs de composants logiciels
 - o Créer des générateurs pour des formalismes non encore abordés : Algorithmes, résolution formelle des équations de Maxwell, schémas thermiques, schémas hydrauliques, modèles moyens en électronique de puissance, ... En bref des formalismes analytiques ou semi-analytiques pour le pré-dimensionnement
 - o Faire d'environnements pré-existants des générateurs. On peut penser à des environnements du génie électrique comme FLUX [SOU-05], INCA [GUI-01], ... Ces environnements ont déjà pris le virage des applications métiers : l'approche composant offre une standardisation de ces applications métiers
- Au niveau des services
 - o Faire des environnements pré-existants des outils capables d'accueillir des composants pré-existants. Ainsi des outils de simulation systèmes pré-existants comme Flux, Matlab/Simulink, Scilab, Portunus... ou des outils d'optimisation pré-existants pourraient parfaitement être modifiés par ajout de connecteurs pour que des composants logiciels puisse venir y être « pluggés ».
 - o Améliorer les possibilités de composition des composants, ce qui doit permettre :
 - D'aller le plus vite possible du composant au système en réutilisant des modèles de composants disponibles sur étagères (comme le sont les composants physiques)
 - D'ouvrir un moyen pour composer des composants contenant des modèles avec des granularités de modèles différentes, et des physiques différentes (électromagnétique, thermique, mécanique, ...) et d'apporter ainsi une contribution aux problématiques de multi-niveaux de modélisation et de multi-physiques

Des enjeux scientifiques à mesurer

Les enjeux scientifiques sont non seulement de tester la faisabilité de cette approche à base de composants logiciels, mais essayer d'en mesurer les impacts sur les processus de conception : comment la disponibilité de ces composants va-t-elle changer les processus de conception notamment entre acteurs différents qui auront des perspectives nouvelles pour échanger leurs modèles sous forme de composants logiciels standards. ?

Les perspectives finales

Si les précédents acteurs arrivent à s'entendre sur des composants logiciels offrant des services standardisés, s'appuyant eux-mêmes sur des approches de composants et d'architectures SOA standards, la perspective sera de permettre de construire des modèles de systèmes par composition des composants de base (par composition par orchestration, ...).

Sera ainsi grandement facilitée la construction des modèles globaux pour permettre la simulation et l'optimisation globale des systèmes, ce qui est un des verrous clefs et majeurs, empêchant des mises en œuvre de simulation et d'optimisations globales, faute de modèles disponibles et inter-opérables.

Seraient alors permises à moyen terme :

- des plates-formes d'échanges de composants sur internet, entre fournisseurs de composants et utilisateurs de ces composants qui pourront être téléchargés ou interrogés à distance
- de multiples services autour des composants pourront être imaginés :
 - o achat de licences de composants, paiement à distance à l'utilisation,
 - o service de conseil pour la mise en œuvre du modèle dans un système dans un contexte industriel et marchand, ...
 - o échanges de savoir sous forme de composants entre experts universitaires de composants et de machines et monde industriel.

Le framework : un nouveau paradigme face au paradigme classique d'environnement

En bref la recherche proposée est l'exploration d'un nouveau paradigme pour l'approche de la CAO calcul par rapport notamment au paradigme d'environnement qui a prévalu jusqu'à présent dans le domaine. Les outils devenus à présent classiques comme Flux, Matlab/Simulink, Scilab, PASCOSMA... sont en effet des environnements : un ensemble logiciel cohérent.

Un framework n'est pas un environnement. Mais il faut plutôt le concevoir comme un « Lego », permettant de composer son application métier. Il est donc ouvert, pour recevoir et pour accueillir des applications et faire inter-opérer les environnements pré-existants. L'ouverture passe par l'utilisation de standards et en l'occurrence de standards de composants offrant des services standardisés et reconnus.

Le framework a pour vocation de rendre les environnements inter opérables : ainsi d'autres environnements (comme Flux, INCA [GUI-01], Matlab/Simulink, ...) peuvent générer des composants logiciels ou en accueillir. Un framework peut ainsi être distribué, réparti, alors qu'un environnement a plutôt vocation à tourner sur un ordinateur unique.

Les environnements resteront incontournables : ainsi en simulation numérique permettent-ils de capitaliser des savoirs issus d'approches comme les éléments finis. Les environnements seuls sont cependant un frein à la résolution des problèmes de multi-physique et de multi-niveaux de modélisation. Dans le paradigme « environnement », la seule perspective au fond, pour résoudre les problèmes de multi-physiques, était d'aller vers un environnement unique, perspective à fois utopique et peut-être dangereuse. Perspective en tout cas à laquelle nous ne croyons plus suite à nos travaux dans l'équipe Conception et

Dimensionnement Intégrés dans laquelle, en raison de la vision transversale que nous y déployons, nous sommes confrontés à utiliser des environnements tels que CADENCE pour les micro-systèmes, AMESIM dans le domaine de la simulation des systèmes mécatroniques, Matlab/Simulink dans le domaine de la commande temps réel, Flux pour les actionneurs et moteurs électrotechniques...

Les perspectives de nouvelles applications pour les frameworks

Nous avons exploré ce concept de framework essentiellement pour le dimensionnement et les études de faisabilité de composants électro-mécaniques et des micro-systèmes. Mais cette notion de framework peut aussi trouver des débouchés pour le dimensionnement et l'analyse de systèmes de management d'énergie comme des réseaux embarqués d'automobile, d'avion, des réseaux fixes comme ceux du bâtiment.

Cohérence avec les objectifs initiaux des recherches

Ces recherches sur les frameworks permettent de rester cohérents avec tous les objectifs initiaux des recherches :

- elles doivent offrir à terme des approches intuitives et facile d'utilisation : le principe de composant logiciel, de générateur, ... reste intuitif et facilement appréhendable et peut permettre d'aller vers des approches « Lego », métaphore des approches des dispositifs réels
- elles offrent une solution au problème de disponibilité des modèles qui pourront à terme être disponibles sous forme de composants logiciels. On a donc là une contribution à la problématique de capitalisation et de réutilisation des modèles.
- elles offrent une solution au problème d'interopérabilité
- elles offrent une approche pour combiner les modèles entre eux, pour les combiner et les assembler à une diversité de services de calcul, d'optimisation, ...

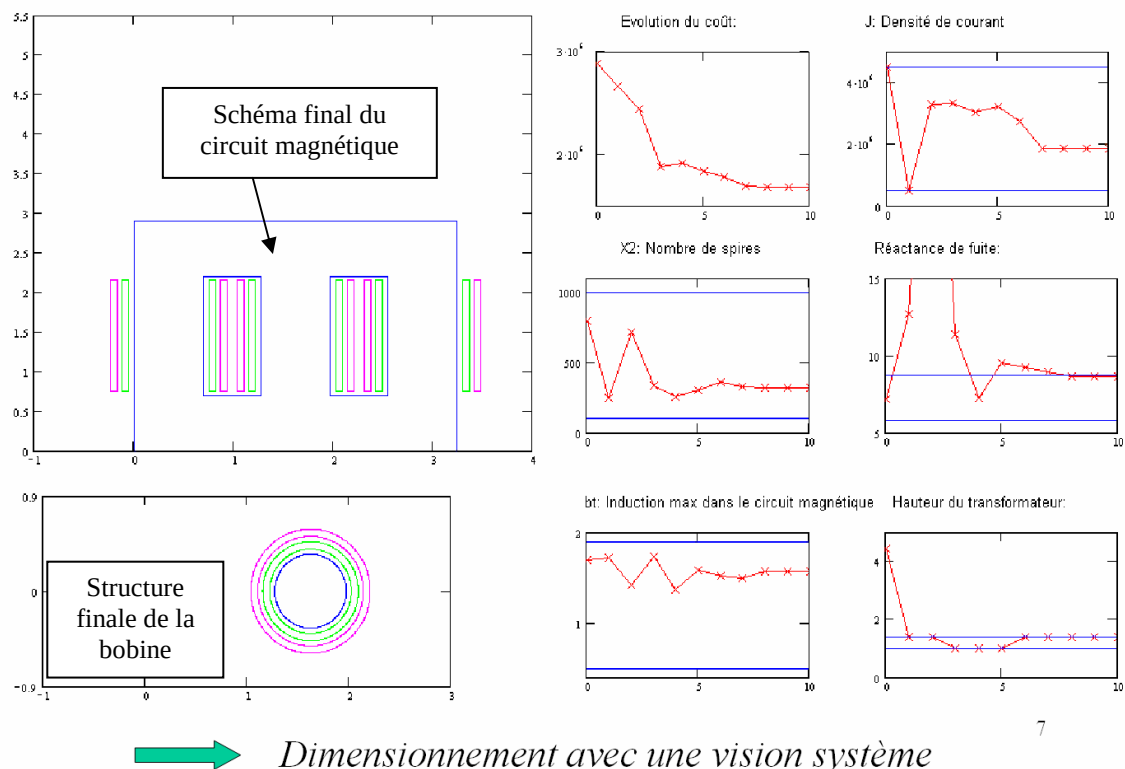
II.b.4 Apports méthodologiques&applications des travaux sur les plates-formes logicielles pour la conception en Génie Electrique

Nous allons détailler ici quelques méthodologies d'aide à la conception qui sont rendues possibles grâce aux méthodes et plates-formes issues des travaux précédents. Ces méthodologies seront illustrées sur des applications concrètes du génie électrique pour en montrer l'intérêt et la pertinence.

II.b.4.a Méthodologies et outils pour optimiser les structures

La première problématique que nos plates-formes permettent d'instrumenter est le dimensionnement et l'optimisation automatique sous contraintes comme cela est illustré sur la figure II.20 pour le cas d'un transformateur (il s'agit du même transformateur que celui pour lequel un modèle à été créé sur la figure II.15). En enchaînant l'emploi d'un générateur (comme CADES ComponentGenerator, voir figure II.10), puis d'un composeur (comme VisualComposer voir figure II.15), pour produire le composant logiciel qui sera utilisé dans un optimiseur (comme CADES ComponentOptimizer, voir figure II.14), on peut produire les résultats de cette figure : une géométrie finale, pour laquelle on peut étudier les évolutions de coût au cours des itérations qui ont été faites par l'optimiseur pour minimiser ce coût tout en respectant les contraintes de la conception.

Dimensionnement et optimisation automatique sous contraintes



➡ *Dimensionnement avec une vision système*

Figure II.20: Aperçu des études de pré-dimensionnement et de faisabilité accessible avec les plates formes développées: dimensionnement avec une vision système, i.e. on optimise le coût en intégrant les contraintes de fabrication, et d'encombrement. On voit sur cette figure la géométrie finale du transformateur, ainsi que les évolutions du coût et des contraintes au cours des itérations

Cette approche permet de réaliser des dimensionnements, des pré-dimensionnements et des études de faisabilité avec une vision système : un grand nombre de paramètres et de contraintes peuvent en effet être pris en compte, grâce notamment au calcul de gradient formellement exact fait par nos générateurs (cf. le tableau II.3). Par ailleurs, le modèle employé est celui créé par composition récursive de sous-modèles électromagnétiques, géométriques et économiques (voir figure II.15), ce qui permet une approche système dès la phase de construction du modèle pour le système.

Ceci permet de réaliser très vite des études comme celles de la figure II.21: la partie supérieure montre une optimisation de la structure pour laquelle on optimise le prix d'achat. La partie inférieure montre une optimisation pour laquelle on optimise le coût capitalisé du système sur sa durée de vie, soit 30 ans, par intégration du coût des pertes produites. La première structure est certes bien moins massive et donc bien moins chère en matière première que la seconde (46k€ contre 94k€). Par contre en coût capitalisé la seconde est bien moins chère que la première : 259 k€ contre 359 k€). Donc nos outils permettent de quantifier et de faire des études avec une vision système sur ces questions, et de montrer que dans ce cas, l'investissement plus important du départ est largement amorti sur la durée de vie du produit. Notons que le temps typique de telles optimisations est de l'ordre de la seconde, ce qui fait de nos approches des outils d'aide à la décision qui permettent au concepteur d'être extrêmement réactif.

Dimensionnement système en intégrant des critères sur la durée de vie du produit

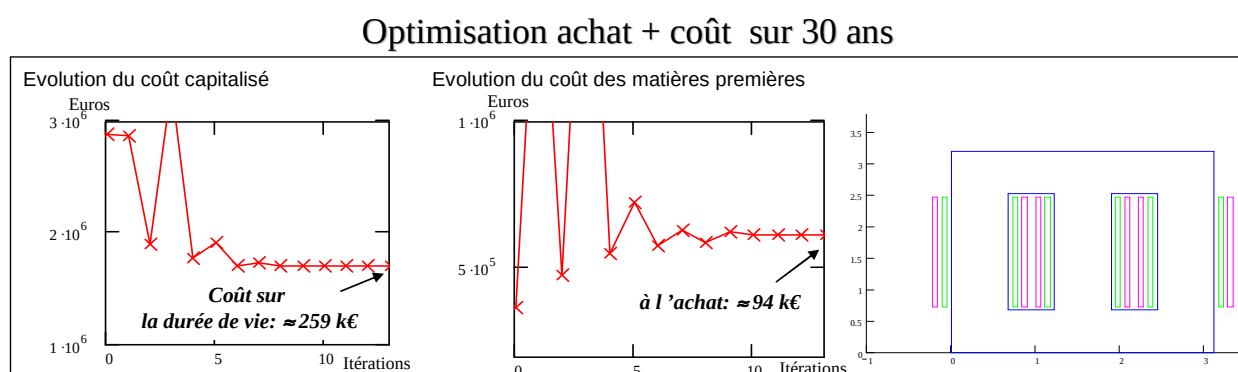
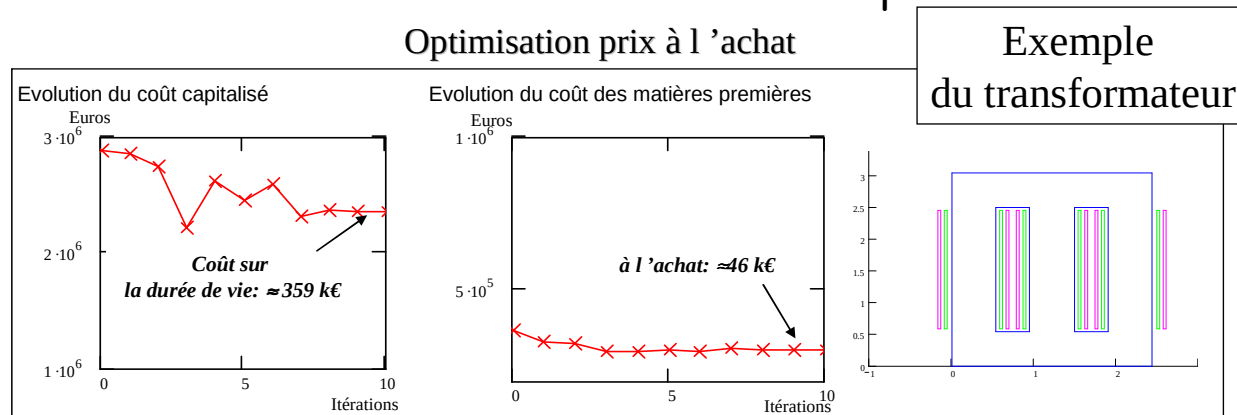


Figure II.21: Exemple d'études pouvant être faites – Comparaison de 2 alternatives pour le dimensionnement d'un transformateur, l'une optimisant le prix à l'achat et l'autre le prix sur la durée de vie

Les références détaillant ou utilisant cet exemple sont la thèse de B. Delinchant [DEL-03] ainsi que les publications suivantes : [WFR-5], [WFR-9], [WFO-01].

II.b.4.b Evaluer le potentiel d'une structure

Notre plate forme, ainsi que les méthodologies qui y sont implantées permettent de faire aussi des études comme celle qui est illustrée sur la figure II.22. L'objectif est d'évaluer le potentiel d'une technologie d'alternateur couramment disponible sur nos véhicules en terme de compromis masse – rendement. La figure II.22 montre comment l'alternateur fabriqué de série (point 1) se positionne par rapport à l'ensemble de tous les meilleurs compromis que l'on a obtenu avec la procédure suivante : génération du modèle avec un générateur tel que CADES ComponentGenerator (voir figure II.10), éventuellement ReluctTool (voir figure II.12) pour modéliser une partie de la structure par réseaux de réductances, puis on optimise en utilisant CADES ComponentOptimizer (Figure II.14). On obtient la courbe de l'ensemble des meilleurs compromis possibles entre masse et rendement grâce à un module courbe de Pareto implémenté dans CADES ComponentOptimizer (Figure II.14) et issu de la thèse de D. Magot [MAG-04]. On voit que si on veut rester à même masse, on peut passer d'un rendement de 61% à 65,2% (passage du point 1 au point 5). On voit que si on veut rester à même rendement, on peut passer d'une masse des parties actives de 4,3 kg à 3,2 kg (passage du point 1 au point 4). Ces résultats sont significatifs, bien qu'ils restent à valider avec un fabricant d'alternateur (il faut vérifier notamment les hypothèses de nos modèles). Mais ce qui est incontestable et intéressant est que cette courbe a été obtenue en gérant près de 54 degrés de libertés et 130 contraintes. Par ailleurs elle est obtenue en quelques minutes grâce à nos approches. On

dispose donc d'une vision système certaine et d'une grande réactivité pour l'aide à la décision et les études de faisabilité. Cette approche système a certainement un potentiel extrêmement intéressant pour rendre de grands services dans des industries comme l'automobile ou l'aéronautique.

Évaluation du potentiel d'une technologie

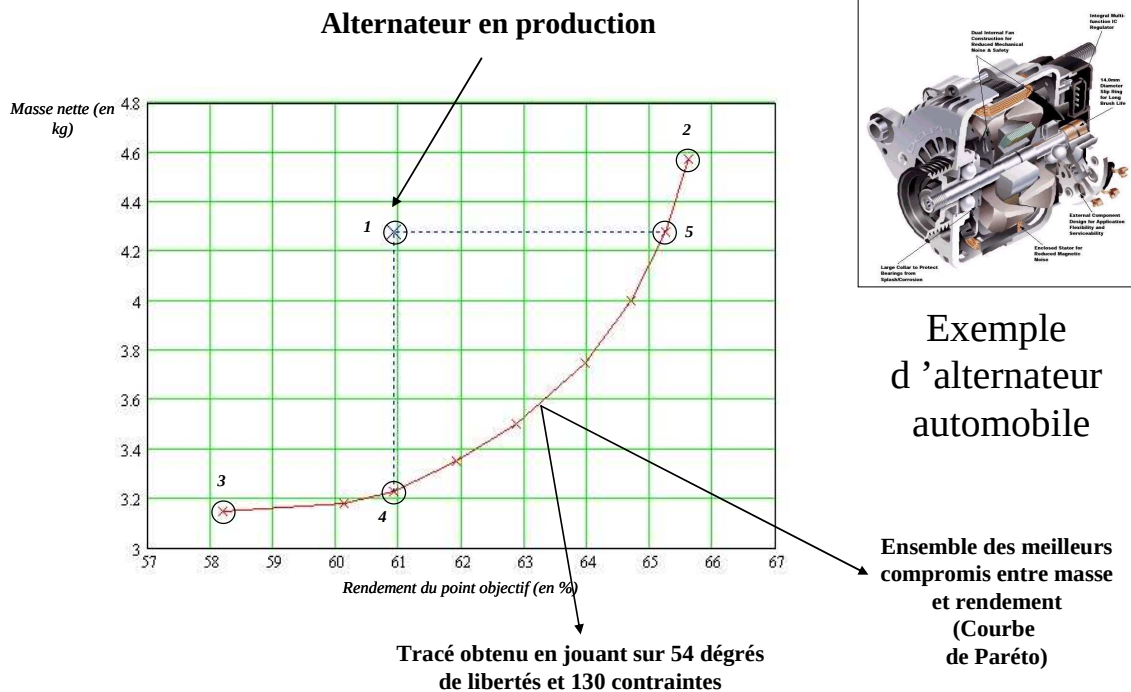


Figure II.22: Développement de méthodes et d'outils pour évaluer le potentiel d'un composant du génie électrique (en l'occurrence un alternateur d'automobile) – Collaboration avec l'équipe Machines et Dispositifs Electromagnétiques Avancés du G2ELAB et Peugeot Citroën (Thèse CIFRE L. Albert [ALB-04])

Les références détaillant ces travaux sont la thèse de L. Albert [ALB-04] ainsi que les références suivantes : [WFR-18], [WFC-31], [WFC-38], [WFC-42].

II.b.4.c Comparer les structures

Une des grandes problématiques à laquelle sont confrontés les concepteurs dans les phases de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité est le choix des structures. Plusieurs structures sont en effet souvent possibles, et grâce à nos plates-formes et nos méthodologies, une procédure rigoureuse d'aide au choix peut être mise en place. Elle consiste à tracer, après avoir généré les modèles à l'aide de nos générateurs, les courbes de Pareto des différentes structures avec CADES ComponentOptimizer (voir figure II.14) et de les mettre sur un même plan. Cela est illustré sur la figure II.22 dans le cadre de la comparaison de différentes structures possibles de micro-moteurs pour un drone électrifié. Comme il s'agit d'un système embarqué, il faut déterminer le meilleur compromis entre masse et rendement. On voit clairement sur cette courbe que la structure 3 est la moins performante : pour toute valeur de rendement, elle a systématiquement un poids plus élevé. Les structures 1 et 2 sont plus comparables, avec cependant un avantage à la structure 2 pour un rendement en dessous de 60% et à la structure 1 pour un rendement au dessus de 60%. Ces résultats intermédiaires (pour les résultats finaux voir [ACH-04]) ont été obtenus dans le cadre d'études faites avec l'équipe micro-systèmes du G2ELAB dont on peut trouver des détails dans les références [WFC-37] et [ACH-04].

Comparaison de technologies concurrentes

Méthodes et outils de dimensionnement utilisés pour comparer des structures de micro moteurs pour Drones

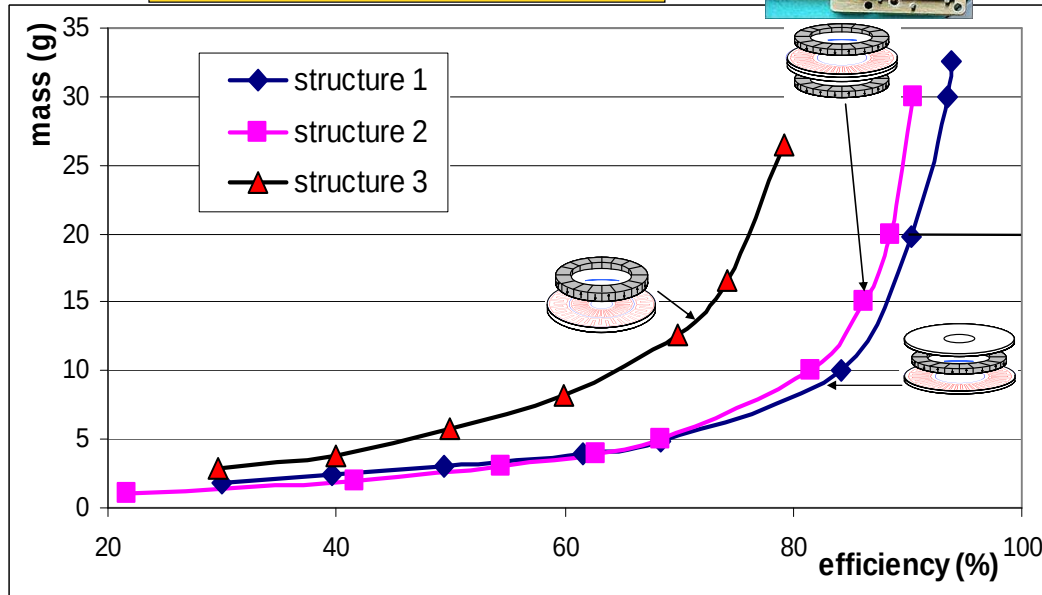
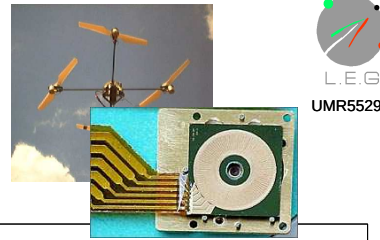


Figure II.23 : Méthodes et outils pour comparer des structures de machines (ici 3 structures possibles de micro-moteurs pour drone électrifié) – Mise en œuvre de nos approches par l'équipe micro-systèmes magnétique du G2ELAB ([WFC-37]), études réalisées pour la DGA (voir [ACH-04])

II.b.4.d Dimensionnement et optimisation dans le cadre d'une vision système

Les exemples des figures II.21, II.22 et II.23 sont des illustrations de cas qui ont été abordés avec une vision système grâce à nos approches : un grand nombre de paramètres et de contraintes sont pris en compte (cf. exemple de l'alternateur sur la figure II.22 avec 54 degrés de liberté et 130 contraintes), et les modèles sont macroscopiques et multi-physiques (cf. exemple du transformateur sur la figure II.15 mêlant par composition un modèle électromagnétique, géométrique et économique sur la durée de vie du produit).

II.b.4.e Tolérancement et conception robuste

Nos plates-formes nous ont aussi permis de travailler sur des problématiques de tolérancement et de conception robuste.

Nous avons étudié cette problématique afin de prendre en compte les contraintes d'incertitude et de dispersion dès la phase de dimensionnement, par une formulation du problème d'optimisation de façon ad'hoc. Cela a été appliqué au dimensionnement de transformateurs [WFC-28], [WFC-30], [MAG-04].

D'autres approches ont été mises en œuvre pour évaluer des dispersions de fabrication par prise en compte des incertitudes et dispersions sur les composants. Nos plates-formes et méthodes associées ont ainsi été utilisées par un partenaire industriel, la société Microspire (57 – Thionville) pour gérer les dispersions sur de courbe de caractérisation des filtres ADSL commercialisés par cette société [WFC-58].

II.b.4.f Comparaison de stratégies d'optimisation

Nos plates-formes permettent de mettre en place très rapidement des outils d'optimisation et d'aide à la décision. Elles ont ainsi été utilisées pour faire des recherches fondamentales sur les performances intrinsèques des différents algorithmes d'optimisation que l'on peut employer. Ces recherches se sont notamment faites en collaboration avec le L2EP (Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance) de Lille pour comparer les performances relatives d'algorithmes déterministes et stochastiques. Nous avons montré sur des cas concrets, comme des exemples de transformateurs, ou de machines synchrones à aimants, que ces approches étaient complémentaires, et nous avons détaillé comment les concepteurs pouvaient utiliser ces algorithmes de façon à profiter de cette complémentarité. Ces travaux sont détaillés dans : [WFR-15], [WFC-33], [WFC-43].

Des travaux du même ordre ont été menés avec le LGEP (Laboratoire de Génie Electrique de Paris), où le logiciel Pro@Design [WFL-02] est utilisé pour pré-dimensionner des structures de machines à aimants, puis la conception et l'analyse sont poursuivies par des méthodes basées sur des approches numériques développées par ce laboratoire partenaire (voir [WFC-45]).

De la même manière, des études ont été menées au laboratoire pour comparer nos approches d'optimisation en utilisant des modèles systèmes macroscopiques avec calcul de gradient, avec des approches basées sur des modèles numériques (logiciels de type éléments finis) développées dans l'ex équipe modélisation du LEG (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble). Ceci s'est fait dans le cadre du Master de N'guessan Kahan [NGU-04] et les études correspondantes ont été publiées dans [WFC-44].

II.b.4.g Applications

Le tableau II.4 donne des exemples d'applications qui ont été traitées avec les méthodes, et outils (notamment les frameworks à base de composants logiciels) présentées précédemment. On notera que les dernières lignes de ce tableau abordent des applications système (système de traction automobile, système de conversion d'énergie électrique pour l'aéronautique) : ceci est cohérent avec notre feuille de route nous fixant de passer avec les méthodes, stratégies et outils que nous avons développés, du composant au système.

Type de l'application de dimensionnement	Description	Industriels utilisateur	Références
Micro-systèmes	Micro-Relais Magnétique Bistable Vertical pour un micro-scanner optique		[WFC-50], [WFC-52], [WFR-20]
Actionneurs	Micro actionneur pour miroir d'optique adaptative		[WFR-19], [WFC-49], [WFC-51]
Moteurs	Micro moteurs pour drones		[WFC-37], [ACH-04]
Machines tournantes	Alternateur à griffes pour application automobile	Peugeot - Citroën	Thèse de L. Albert [ALB-04], [WFC-31], [WFC-38], [WFC-42], [WFR-18]
Actionneurs linéaires	Actionneur de contacteurs, de disjoncteurs	Schneider Electric	Thèse B du Peloux [DUP-06], [WFR-21], [WFC-48], [WFC-54], [WFC-65]
Transformateurs	Transformateur de mesures	Micro-spire	thèse de D. Magot [MAG-04], [WFC-28], [WFC-30]
Electronique	Filtre pour application télécommunication (ADSL)	Micro-spire	[WFC-58], [WFC-66], thèse de D. Magot [MAG-04], thèse de D. Duret
Actionneur magnétique	Coupleur magnétique	DELPHI AUTO-MOTIVE SYSTEMS	Voir contrat dans partie A.4, Master de L. Balzano
Systèmes	Chaîne de traction pour automobile		Master de H. Nguyen Huu: [HIEU-05], [WFC-63]
Systèmes	Chaîne de conversion de puissance pour l'aéronautique	Airbus	Thèse en cours de H. Nguyen Huu

Tableau II.4 : un aperçu des applications des méthodes et outils pour le pré-dimensionnement et les études de faisabilité à base de framework utilisant des composants logiciels 62

II.b.4.g Perspective au niveau des applications

Comme l'échantillon détaillé dans le tableau II.4 nous en donne un aperçu, nous avons, avec le framework CADES et les méthodes et stratégies qu'il permet de déployer, abordé le dimensionnement d'une grande partie des composants du génie électrique.

D'un point de scientifique, il sera très intéressant d'apporter en perspective les thématiques applicatives suivantes

Le dimensionnement des grands systèmes énergétiques

Nous avons déjà commencé à aborder cette thématique, notamment via les master et le thèse de N'Guyen Huu Hieu dans le cadre de dimensionnement de système de bord pour l'automobile et l'aéronautique. Néanmoins cette voie reste encore très largement à débroussailler et ceci tant :

- au niveau des méthodes : quelles seront les méthodes de calculs, de propagation de gradient, d'optimisation à utiliser dans des système utilisant un grand nombre de sources et de charges, donc un grand nombre de composants et de paramètres dont un nombre importants d'entre eux sont discrets
- au niveau des architectures logicielles : ces applications vont être l'occasion de faire « monter en charge » les concepts de framework et d'architecture à base de composants logiciels, de par le nombre de composants qu'il faudra intégrer pour passer du composant au système
- les applications seront bien les réseaux de bord en automobile et en aéronautique, mais aussi les réseaux de distribution d'énergie inter et intra bâtiments.

C'est pour alimenter cette réflexion que je participe :

- à l'encadrement de la thèse de G. Foggia dont le sujet est la « Gestion optimale de l'énergie dans des systèmes multi-sources et multi-énergies dans le bâtiment »
- que je travaille avec Ti Thua Pham Ha, Post-doctorante, dans le cadre du projet Multisol. Ce post-doctorant se déroule sur 2 années (2006-2008). Il vise à développer dans le cadre du projet Multisol, des systèmes de dimensionnement optimal, et de prévision optimal de la gestion de l'énergie, dans des bâtiment alimentée par plusieurs d'énergie

Tous ces travaux se font en collaboration avec l'équipe Syrel qui travaille sur les Systèmes et Réseaux Electriques.

L'éco-conception

L'éco-conception est une approche de la conception qui vise à faire une optimisation sur le cycle de vie du produit. Nos approches permettent déjà d'instrumenter certaines questions relatives à cette problématique. Ainsi la figure II.21 montre que grâce au framework CADES, et aux méthodes et outils qu'il offre, on peut optimiser un système comme un transformateur sur sa durée de vie. Il faut ainsi continuer la réflexion pour déterminer quels sont les méthodes et outils à développer pour étendre la capacité à avoir une vision système du dimensionnement étendue sur la durée de vie des composants et des systèmes.

Résumé introductif du chapitre III

Les travaux présentés dans le chapitre II l'ont été dans le cadre d'une vision classique de ce quoi doit être une discipline de la conception en génie électrique, à savoir une discipline consistant en l'étude des Méthodes, des Outils et des Savoirs (des modèles) qui doivent permettre de concevoir les objets. C'est ce que nous avons appelé l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » (OSMO).

Or, l'objet de cette partie est d'étayer la conviction, à laquelle je suis parvenu au cours de mes dernières années de recherches, qui se résume en 2 points:

- 1° Cette approche est indispensable et incontournable,
- 2° Mais que si nous nous contentons d'aborder la conception par cette seule approche, nous nous orientons vers une crise et une impasse dont nous ressentons d'ailleurs largement les symptômes. L'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » est donc nécessaire, mais non suffisante.

L'objectif de ce chapitre va alors consister :

- 1° à argumenter que cette crise existe déjà en en mettant en évidence les symptômes apparaissant autour des activités de résolution de problèmes inverses, de résolution des problèmes directs et de gestion des savoirs
- 2° à proposer comme raison fondamentale de cette crise, une non prise en compte des concepteurs/modélisateurs
- 3° à proposer une thèse consistant à dire que cette approche de la conception, excluant l'acteur humain, résulte du fait que la conception serait abordée dans le cadre d'une épistémologie classique, c'est-à-dire d'une vision voulant faire de la conception une discipline abordée comme l'est classiquement la physique ou la physique appliquée.
- 4° nous caractériserons alors ce qu'est une épistémologie classique, et montrerons qu'en voulant y privilégier absolument des critères de déterminisme, d'objectivité et de rationalisation, elle en arrive à privilégier des théories de la conception s'intéressant exclusivement aux objets, aux savoirs, aux méthodes et aux outils et arrive à en exclure les concepteurs/modélisateurs
- 5° or nous montrerons que les approches classiques de la science, si elles sont appliquées trop rigide, peuvent apparaître en crise en général (y compris pour la physique) et donc en crise pour l'étude de la conception en particulier.
- 6° nous concluons alors ce chapitre en esquissant des pistes pour surmonter la crise : ceci va principalement consister en la nécessité de définir un nouveau cadre d'approche scientifique (en fait un nouveau cadre épistémologique), qui aura comme principale caractéristique :
 - o d'intégrer les concepteurs/modélisateurs comme faisant partie pleine et entière du système de conception
 - o de donner aux connaissances et savoirs un statut d'entités construites par les concepteurs, dépendantes pas seulement des objets et des phénomènes à concevoir, mais aussi de paramètres comme le contexte, les objectifs du concepteur, ... (on parlera d'épistémologie constructiviste)
 - o d'imposer comme perspective principale de renoncer à la vision d'une automatisation et d'une rationalisation complète possible de la conception.

III La crise de la conception vue par la seule approche « objets – savoirs – méthodes – outils » (OSMO)

III.a Les symptômes de la crise de l'approche « objets – savoirs – méthodes – outils »

III.a.1 Crise de l'approche pour l'activité de conception – résolution du problème inverse

Les symptômes de la crise de l'approche se manifestent lorsqu'on observe certaines difficultés autour des méthodes et outils pour la résolution des problèmes de conception (problèmes inverses) et de leur mise en œuvre. Ainsi :

- Les méthodes et les outils ont souvent du mal à survivre au départ de leur concepteur.
- Les méthodes et outils sont souvent difficiles d'appropriation par de nouveaux concepteurs (ainsi des politiques de mise en place d'outils basés avec des « concepteurs interchangeables », de type stagiaire s'implantent mal ou pas du tout).
- Si ces outils sont incontestablement plus performants que les concepteurs sur certains aspects, comme la capacité à gérer beaucoup de paramètres et de contraintes, il y a des aspects sur lesquels ils n'arrivent pas à se substituer aux concepteurs comme typiquement identifier certains résultats absurdes ou incohérents. Sur ces aspects, les concepteurs restent encore et toujours plus performants que les méthodes implantées dans des outils logiciels.
- Il existe toujours des cas où ces outils ne trouvent pas de solution, donc leur fiabilité n'est jamais garantie. Pire, il arrive que la solution leur échappe alors qu'elle peut apparaître de manière évidente au concepteur, ...
- Dès lors que l'on fréquente les entreprises et les bureaux d'études, on se voit rapporter nombre de cas où des investissements sur des outils très chers ont été réalisés, et qui par la suite, ont été peu ou pas utilisés : le simple fait d'avoir l'outil, n'en a pas fait un outil opérationnel et utilisé

Tous ces symptômes, dont tous les outils supports à la conception souffrent à des degrés plus ou moins divers, sont des signes qu'ils ne sont pas des objets autosuffisants et autoporteurs de l'activité de conception qui aurait été captée grâce aux méthodes et savoirs.

III.a.2 Crise de l'approche pour l'activité de simulation – résolution du problème direct

C'est aussi avec une vision OSMO que l'activité de simulation (résolution du problème direct) a été abordée dans le génie électrique. Cette approche y a été, comme dans beaucoup de domaines, source d'un développement considérable et le résultat de toutes ces approches est à présent la disponibilité d'un grand nombre d'outils s'appuyant sur des méthodes comme les éléments finis [COU-85]

En dépit de cet état de fait très positif, ces outils n'ont pas pu ramener l'activité de simulation à un objet complètement capté et porté par ces outils, et les méthodes et les savoirs qui y sont implantés. Seront peut-être convaincus ceux qui comme moi ont observé les symptômes suivants :

- Ces outils souffrent d'une robustesse toujours imparfaite : Il existe toujours au moins un cas où le logiciel ne converge pas, où il ne trouve pas la solution.
- Ils ne sont pas toujours quantitativement aussi précis qu'on le souhaiterait, n'atteignant jamais parfaitement l'idéal du laboratoire virtuel

- Il persiste le sentiment que ce sont des logiciels qui, malgré leur puissance et leurs fonctionnalités toujours plus grandes, restent inachevés, avec des algorithmes en perpétuelle évolution.
- Certaines approches numériques semblaient à certains suffisamment prometteuses pour penser qu'on allait pouvoir éliminer des approches macroscopiques, analytiques par des méthodes style élément finis beaucoup plus formelles et rigoureuses : ces approches ont été un progrès fabuleux, le fait marquant du domaine de la fin du siècle qui a connu un vrai succès et une vraie retombée pratique. Mais le bilan consiste à dire que cette révolution de la méthode, du formel a ouvert de nouveaux horizons, mais en aucun cas ne s'est substituée aux approches macroscopiques, au savoir-faire des experts, ...

Tous ces éléments sont des symptômes, rapportés, ou auxquels on a directement été confrontés, et qui montrent que les outils de simulation, aussi puissants et indispensables qu'ils soient aujourd'hui, n'ont pas réussi à transformer l'activité de simulation en des objets que seraient des outils logiciels utilisant des méthodes et des savoirs.

III.a.3 Crise de l'approche pour l'activité gestion des savoirs

C'est enfin avec une vision OSMO, que la gestion des savoirs ou des connaissances est souvent abordé en génie électrique : l'idée consistant à dire que les connaissances sont en fait les savoirs, les méthodes et que pour faire de la capitalisation et de la gestion des connaissances, il suffit de capitaliser ces savoirs et ces méthodes dans des outils logiciels, voire des articles, des livres.

Or force est de constater que depuis plus de 100 à 150 ans de recherches fondamentales en génie électrique, il n'existe aucun dispositif pour lequel on dispose d'un modèle, autrement dit un savoir, unique et indiscutable. On peut illustrer ce point de vue sur l'exemple de la machine asynchrone, qui est pourtant l'un des plus anciens dispositifs modélisés en témoigne le fait que des publications sur cette machine datent de 1897 [STEL-97]. Or la réalité de la littérature montre une diversité de modèles disponibles pour cette structure tant il est vrai que les modèles pour le dimensionnement [WFT-96] ne sont pas les mêmes que les modèles pour la commande, qui ne sont encore pas les mêmes que les modèles pour l'analyse fine. Cette déception est souvent visible lorsqu'on cherche à utiliser des suites logicielles de simulation proposant des bibliothèques préexistantes de modèles : ces bibliothèques arriveront à satisfaire une partie des utilisateurs, tout en ne manquant pas de créer des utilisateurs mécontents prétendant que ces mêmes modèles ne correspondent pas à leurs besoins.

Ceci semble être le symptôme d'une crise de l'approche, visant à décrire l'objet (les composants et les systèmes) par des savoirs (des modèles) définis intrinsèquement par la nature de l'objet et des phénomènes qui s'y produisent.

III.b Les raisons de la crise de l'approche « objets – savoirs – méthodes – outils » (OSMO)

III.a.1 La raison fondamentale : une non-prise en compte de l'acteur humain

La thèse que nous défendrons ici est que la crise identifiée précédemment émerge lorsque l'approche OSMO est mise en œuvre de façon stricte, c'est-à-dire lorsqu'on s'intéresse exclusivement aux objets à concevoir, aux savoirs, aux méthodes et aux outils et que l'on ne se préoccupe pas des acteurs humains, concepteurs et modélisateurs, gravitant autour.

III.b.2 Les raisons d'une non-prise en compte de l'acteur humain dans le cadre de l'approche OSMO : des fondements épistémologiques excluant l'acteur humain

Cette habilitation va proposer ici une thèse !

Une thèse tentant en effet d'expliquer les raisons, pour laquelle la seule approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils », avec non prise en compte des acteurs humains, est privilégiée lorsqu'on aborde la conception en génie électrique, ce qui débouche ensuite sur la crise que nous prétendons avoir identifiée. Cette thèse consiste à dire que les fondements de l'approche OSMO s'enracinent dans le cadre des hypothèses, méthodes et validations classiques de la science, qui sont caractérisées par ce qu'on appelle une épistémologie, et plus particulièrement une épistémologie que l'on qualifiera ici de classique naïve. Nous allons ici caractériser cette épistémologie, montrer en quoi elle est peut-être le carcan à la base des principales théories de la conception menant à une approche strictement « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils ».

III.b.2.a Caractérisation de l'épistémologie et des épistémologies

L'épistémologie

Etymologiquement, épistémologie vient du grec « épistémè », signifiant connaissance, et, « logos » signifiant discours [LEM-99]. L'épistémologie est donc le discours sur la connaissance, et c'est notamment, l'étude de la constitution des connaissances qui seront jugées comme scientifiquement valables.

Les penseurs de l'épistémologie se sont souvent intéressés aux théories fondamentales de la physique et de ce qu'est la nature de ce type de connaissances fondamentales. Citons peut être l'un des premiers parmi eux, Descartes qui a écrit un des premiers textes épistémologique avec son discours de la méthode [DEC-37], mais on peut citer d'autres noms tels que Kant [KAN-81], Popper [POP-34], Morin [MOR-77], Lemoigne [LEM-99], [MOL-99] ...

En cohérence avec [LEM-99], nous définirons ici l'épistémologie (quitte à réduire ici son champs disciplinaire en réalité plus large) comme la discipline s'intéressant aux fondements avec lesquels une discipline scientifique doit être bien menée, pour produire des connaissances et des savoirs scientifiquement valables. Si ces fondements sont en crise, toute la discipline est en crise.

Les épistémologies et comment les caractériser

Selon [LEM-99], chaque épistémologie peut se caractériser par les réponses qu'elle apporte aux questions Q1, Q2 et Q3:

- Q1 : Quelles sont les hypothèses quant à la nature de la connaissance, ce qu'on appelle la question gnoséologique dans [LEM-99].

- Q2°: Comment les connaissances se doivent-elles d'être produites, ou constituées ce qu'on appelle la question méthodologique dans [LEM-99].

- Q3°: Comment les connaissances sont appréciées ou validées, ce qu'on appelle dans [LEM-99] la question éthique.

Comment caractériser une épistémologie?

Selon [LEM-99], une épistémologie se caractérise selon les réponses qu'elle apporte aux 3 questions suivantes :

Q1 : Quelles hypothèses sous tendent la nature des connaissances ?.

Q2 : Comment les connaissances sont-elles être produites ou constituées?

Q3 : Comment la validité des connaissances est-elle appréciée ?

Selon l'aveu même de [LEM-99], ces questions sont en réalité plus ou moins inter-dépendantes.

L'apport de l'épistémologie dans le développement des sciences de la conception

L'épistémologie va nous servir d'outil pour essayer de retrouver les fondements avec lesquelles la conception est abordée comme discipline. Nous verrons qu'une des épistémologies de référence est l'épistémologie dite classique (ou encore positiviste, ou réductionniste, ou réaliste ...). Cette épistémologie a eu un tel succès et une telle prégnance qu'elle sert souvent, et implicitement de référence dans l'inconscient collectif, à ce que doit être une démarche scientifique valide. Nous argumenterons que la conception n'échappe pas à cette règle, et nous verrons que c'est sans doute par référence implicite aux canons de l'épistémologie classique qu'on en arrive à privilégier l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » comme approche de la conception. Ceci est sans doute plus particulièrement vrai dans une discipline dite de physique appliquée, comme l'est le génie électrique. L'intérêt de l'approche épistémologique et de nous montrer qu'il existe d'autres épistémologies possibles. Ceci nous permettra, non seulement d'approcher la discipline de la conception avec d'autres approches (ce qui fera l'objet des deux parties suivantes), mais nous permettra aussi de fournir une thèse expliquant la dominance de l'approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils » comme une application stricte, voire naïve, de l'épistémologie classique.

En bref, comme le rappelle E. Morin dans le tome 3 de « la méthode », intitulé « la connaissance de la connaissance » [MOR-77], l'épistémologie, qui n'est autre que la connaissance de la connaissance et l'étude de la conception sont deux disciplines liées comme il le souligne dans le passage suivant (page 187):

« La conception de la conception couvre la théorie de la connaissance, l'épistémologie, la logique, la paradigmatique, c'est-à-dire tout ce que va essayer de concevoir de façon articulée la connaissance de la connaissance ».

III.b.2.b Les fondements d'une application stricte de l'approche OSMO : l'épistémologie classique naïve

Statut et légitimité de l'épistémologie classique

L'épistémologie classique est l'épistémologie, qui de Descartes à Einstein «devait» et qui pour beaucoup « doit continuer » à gouverner ce que sont les hypothèses, les méthodes, la validation avec lesquelles «doivent» être produites les connaissances qui seront «tenues pour seules scientifiques» [LEM-99].

Cette épistémologie est donc fondamentale et a valeur de contrat social. Elle est :

- un outil d'analyse et de critique scientifique [LEM-99],
- un outil d'orientation et de structuration de la science [LEM-99] qui a forgé le découpage des actualités des disciplines, la structure institutionnels des actuels organismes de recherche, ...

- et donc par voie de conséquence un outil qui n'a pu que orienter les pratiques et les démarches scientifiques de nos métiers du génie électrique, surtout en tant que discipline dite de physique appliquée,

- la thèse présentée ici va consister à dire que cette épistémologie a tellement structuré la science, qu'elle s'est distillée dans l'inconscient collectif, sous une forme que nous appellerons l'épistémologie classique naïve.

Incontestablement, l'épistémologie classique trouve ses racines chez Descartes dont l'ambition était, comme le souligne [ALQ-06], d'"éviter l'erreur" et de "découvrir la vérité". En d'autres termes, l'objectif de Descartes est de découvrir une unité des sciences basée sur la certitude du raisonnement mathématique.

Caractérisation de l'épistémologie classique naïve

Ce que l'on va appeler l'épistémologie classique caractérise, au premier ordre toute une famille d'épistémologies dont les nuances se déclinent en épistémologie qualifiée de réaliste, positiviste, réductionniste, matérialiste... On pourra se reporter avec profit aux références suivantes pour des exposés détaillées de toutes ces nuances : [LEM-99], [ESP-03], [ZWI-00].

Nous en resterons ici à une caractérisation au premier ordre proposée par [LEM-99] que nous allons reprendre pour proposer une caractérisation de ce que [ZWI-00], page 281, appelle le réalisme scientifique naïf, et que nous appellerons par la suite l'épistémologie classique naïve⁵. C'est une proposition de ce que pourrait être la représentation de ce qu'est « la vraie science », sans avoir jamais réellement eu une réflexion épistémologique. Il peut s'agir donc non seulement de l'homme de la rue, que de l'ingénieur ou du chercheur ...

Nous allons donc définir le portrait robot de cette épistémologie classique naïve. Cette caractérisation se fera par les réponses que cette épistémologie classique naïve apporte aux questions Q1, Q2 et Q3 ce qui est fait dans le tableau III.1°

⁵ : D. Andler dans [AND-04] a défini de façon un peu similaire, page 350, le concept de SLN (« Sujet Logiquement Naïf ») pour essayer de caractériser la logique d'un individu qui n'aurait pas la formation en logique d'un étudiant de cette discipline. Il a néanmoins une conscience logique implicite, de la même manière que l'épistémologie classique naïve est ici une proposition de ce que pourrait être l'épistémologie implicite que l'on pourrait avoir sans avoir jamais étudié la question.

Q1 : Quelles hypothèses sous tendent la nature des connaissances ?.	2 hypothèses	1° L'hypothèse ontologique qui suppose que les connaissances doivent être définies intrinsèquement et uniquement par la nature physique des choses. Appliquée aux savoirs que sont les théories et leurs sous produits que sont les modèles, cela signifie qu'ils doivent être définis intrinsèquement et uniquement par la nature des dispositifs étudiés et de la physique qui s'y produit. La connaissance doit donc avoir pour caractéristiques d'être : - indépendante des observateurs, - indépendante des objectifs pour lesquels on l'utilise, - indépendante du contexte dans lequel elle est utilisée, -de vérité à statut intemporel à laquelle l'observateur aura accès, ce n'est qu'une question d'effort plus ou moins long. 2° L'hypothèse déterministe qui impose à la connaissance d'avoir un comportement impliquant que les mêmes causes produiront les mêmes effets.
Q2 : Comment les connaissances sont-elles être produites ou constituées?	2 principes	1° Le principe d'analyse réductionniste qui préconise de décomposer et réduire le système en sous-systèmes régis par des lois élémentaires, pour retrouver le fonctionnement du système global par composition. C'est l'approche préconisée dans le discours de la méthode [DEC-37]. 2° Le principe de raison suffisante signifiant qu'on doit inférer de nouvelles connaissances en s'appuyant exclusivement sur des raisonnement logiques et mathématiques. Ainsi que le rappellent [LEM-99], cette désignation de « principe de raison suffisante » a été introduite par Leibniz, et introduisait l'évidence du raisonnement logique naturel, que nous étendons ici au raisonnement mathématique.
Q3 : Comment la validité des connaissances est-elle appréciée ?	1 méthode	La méthode de la vérification expérimentale qui préconise de valider les connaissances produites par l'expérimentation.

Tableau III.1 : Caractérisation de l'épistémologie classique

III.b.2.c L'approche OSMO dans le cas de la simulation

Une application stricte du cadre épistémologique classique naïf, ou comment l'outil devient l'objet via les savoirs et méthodes

Nous allons à présent chercher à argumenter le point de vue consistant à dire que l'épistémologie classique naïve est un cadre, qui s'il est appliqué strictement impose l'approche « Objets – Savoirs - Méthodes – Outils » comme seule légitime pour le cas de la simulation (ou résolution du problème direct).

En effet en réponse à Q1, la vision classique impose au savoir d'être ontologique et déterministe.

L'hypothèse ontologique légitime ainsi qu'on ne s'intéresse qu'aux objets et à leur nature intrinsèque et justifie donc qu'on place les objets à concevoir, que sont les composants et les systèmes, au coeur des études.

L'hypothèse ontologique contraint par ailleurs directement la nature des connaissances, que nous appellerons ici savoirs, qui seront jugés scientifiquement légitimes: En effet, pour être conformes à l'hypothèse ontologique, ceux-ci doivent être l'image isomorphe et objective des phénomènes qui se produisent dans l'objet et de leur dépendance par rapport aux paramètres de fonctionnement et de construction. Il pourra typiquement s'agir des modèles paramétrés utilisés pour la simulation et le dimensionnement (cf. les modèles utilisés pour l'optimisation dans la figure I.3).

L'hypothèse déterministe définit une propriété fondamentale que doivent posséder les objets et les savoirs qui leur sont associés comme les modèles : Il doit s'agir d'entités pour lesquelles les mêmes causes (cf. les mêmes paramètres de conception et de dimensionnement) devront produire les mêmes effets (cf. les mêmes performances).

En bref, pour être conformes aux hypothèses ontologiques et déterministes, seront légitimes des théories et modèles constituant un savoir, sur les objets, déterministe fiable, et indépendant des observateurs. Les acteurs sont de fait exclus de cette vision de ce que sont les connaissances scientifiquement valables.

En réponse à Q2, l'épistémologie classique naïve, qualifiera de scientifique les savoirs qui auront été produits selon le principe de l'analyse réductionniste et en utilisant le principe de raison suffisante.

Le principe d'analyse réductionniste invite à valoriser les savoirs de base, qui auront été produits sur les composants et les phénomènes de base. Ainsi, pour construire le savoir modèle du système, on privilégiera les modèles des composants des systèmes (les composants électroniques de bases, le modèle du moteur, le modèle de la charge, ...), basé sur les théories et modèles des phénomènes de base (électriques, magnétiques, thermiques, ...) pris et validés isolément. Le fonctionnement de l'ensemble, donc le savoir du système sera retrouvé en remettant ces savoirs élémentaires ensemble, et le fonctionnement du système sera retrouvé grâce à des méthodes et des outils, notamment de simulation, permettant d'agréger tout cela.

Le principe de raison suffisante, va donner un statut scientifique aux méthodes et savoirs s'appuyant sur les mathématiques et la logique, qui servent eux-mêmes à produire de nouveaux savoirs eux-mêmes sous forme logique et mathématique. A noter que la forme logique et mathématique est en cohérence totale avec les contraintes d'objectivité et de fiabilité imposées par les hypothèses ontologiques et déterministes. Ceci en fait naturellement des savoirs adaptés à être implantés dans des outils logiciels utilisant des mathématiques appliquées lorsqu'il s'agit de méthodes de simulation, ou utilisant de la logique formelle lorsqu'il s'agit de règles.

Autrement dit, les principes de l'analyse réductionnistes et de la raison suffisante vont imposer comme scientifiquement légitimes, car objectifs et fiables, des savoirs et méthodes logiques et mathématiques qui ont une vocation toute naturelle à être implémentés dans des outils logiciels.

En réponse à Q3, l'épistémologie classique naïve préconise la vérification expérimentale.

Elle légitime donc l'implantation des savoirs et des méthodes en des outils logiciels dont le fonctionnement pourra alors être comparé au fonctionnement mesuré des objets que sont les dispositifs. Ces outils sont donc nécessaires pour valider les savoirs et les méthodes,

en vérifiant leur capacité à refléter de façon objective et déterministe le fonctionnement des objets, autrement dit leur propriété ontologique et déterministe.

Arrivé à ce stade, la fiabilité et l'objectivité de l'outil sera validé par rapport à l'objet, au même titre que les savoirs et méthodes qu'il utilisera à tel point qu'un retournement vertueux se produira : l'outil qui aura été le vecteur indispensable à la vérification de cette cohérence des savoirs et des méthodes par rapport à l'objet, sera la représentation objective et fiable de l'objet lui-même.

L'outil est devenu l'objet via les savoirs et les méthodes.

III.b.2.d L'approche OSMO dans le cas de la conception

Une application stricte de l'épistémologie classique naïve, ou comment la conception des objets semble pouvoir se ramener à des outils via les deux théories dominantes de la conception

L'argumentation du paragraphe précédent, montre la cohérence de l'épistémologie classique naïve et du projet visant à faire en sorte que l'outil devienne l'objet via les savoirs et les méthodes pour la simulation (résolution du problème direct).

Par extension ce projet semble pouvoir assez naturellement s'étendre aux activités plus «conception» ou résolution du problème inverse. Cela paraît d'autant plus possible si l'on analyse les théories sous jacentes qui sont à la base de la conception telle qu'elle a été abordée très souvent en ingénierie, et quasi exclusivement dans le génie électrique. Ces théories sont essentiellement au nombre de deux. Elles peuvent tout à fait se prêter à une vision classique naïve de la conception, à savoir la conception vue comme un objet qui peut se ramener à des outils en utilisant des méthodes et des savoirs.

Théorie de la décision et SIP : les deux théories de la conception compatibles avec l'approche OSMO

Ces 2 théories de la conception, à priori compatibles avec le cadre épistémologique naïf, et pouvant être à l'origine de l'approche OSMO sont respectivement :

- 1° La théorie de la décision : A. Hatchuel en définit la nature et la portée dans [HAT-02]. Cette théorie voit la conception comme étant une problématique de choix dans un ensemble d'alternatives qui sont décrites par un espace mathématique. Elle propose l'optimisation comme formalisation du comportement rationnel de conception face à cette problématique de choix, cherchant à minimiser ou maximiser une fonction d'utilité elle-même formulable mathématiquement. Cette optimisation peut prendre la forme la plus simple (l'optimisation déterministe) à des formes plus évoluée en économie (qui sont la théorie de l'utilité). J'y adjoindrai volontiers, les formes récentes de techniques d'optimisation incluant des stratégies d'optimisation évolutionnistes tels que les algorithmes génétiques [GOL-94]. Selon [HAT-02], cette théorie est un paradigme, c'est-à-dire un cadre théorique au sens de Kuhn [KUH-62], dans lequel se situe tout un ensemble de disciplines telles que : la recherche opérationnelle, la statistique, la micro-économie, le dimensionnement en génie électrique ... A. Hatchuel se situe plutôt dans le domaine de l'économie et de la science des organisations, mais nul doute que cette analyse s'applique aussi au domaine de l'ingénierie que l'auteur connaît par ailleurs et a étudié de près dans d'autres références [HAT-92].
- 2° la théorie SIP pour « Symbolic Information Processing approach » (Dénomination introduite par V. Wisser dans [VIS-04]). D'un point de vue historique, c'est Herbert Simon qui en a largement inspiré et développé les fondements, en réalisant notamment le premier programme d'intelligence artificielle en 1956 intitulé « Logic Theorist » faisant de la démonstration de théorèmes [CRE-97]. SIP considère que la

conception est essentiellement une activité de résolution de problèmes par manipulation de symboles. Ainsi que l'explique [VIS-04], selon cette théorie, la conception comprendrait deux phases:

- marginalement une phase de formulation du problème
- essentiellement une phase de résolution de problème où se déploie réellement la conception.

Cette résolution de problèmes se mène par du traitement de symboles, de chiffres, de règles, d'algorithmes ... Cette résolution du problème se mène par décomposition en sous problèmes (qui semble en cohérence avec la méthode analytique réductionniste). L'approche de Simon se démarque de l'approche optimisation pure et de la théorie de la décision, au sens où elle permet l'introduction d'un savoir autre, que le savoir mathématique pur nécessitant l'expression sous formes de fonctions de toutes les alternatives et de l'objectif de maximisation. Simon introduit en effet ce qu'on appelle la programmation heuristique en utilisant le savoir constitué par les règles heuristiques [CRE-97]. Ce savoir heuristique est formulé par des experts et résulte de leurs longues années d'expérience. Doivent ainsi pouvoir se formuler des savoirs permettant de réaliser des activités aussi complexes que l'innovation, ou l'intuition qui pour Simon sont des processus de reconnaissance de forme et de situation que le concepteur a développé au cours de son expérience (cf. [VIS-04] page 89, ou [HAT-02]). Cette théorie légitime les approches du type Intelligence Artificielle.

Ces approches et sa théorie de la conception sont développés par H. Simon⁶ dans un ouvrage qui est une référence incontournable, publié en 1969 et intitulé « les sciences de l'artificiel » [SIM-69]. Cet ouvrage est très souvent présenté comme posant les fondations de la conception vue comme une nouvelle discipline, vision cautionnée par l'aura scientifique de H. Simon qui est tout à la fois un des pères fondateurs de l'intelligence artificielle, prix Nobel d'Economie en 1978, et auteur incontournable dans des disciplines comme la psychologie expérimentale ou les sciences des organisations.

Il faut noter que ces 2 théories dominantes sur la nature de l'activité de conception n'ont pas émergé par hasard. Elles ont trouvé place dans le contexte de l'émergence des sciences informatiques de la seconde moitié du 20^{ème} siècle. Et il est vrai que depuis son origine, beaucoup de recherches ayant contribué à l'essor de cette discipline ont prétendu avoir trouvé le modèle fondamental de la pensée humaine. C'est notamment le cas de Boole qui déjà en 1854 avait intitulé le traité formalisant sa célèbre arithmétique, base logique de tous les ordinateurs, par : « *An Investigation into the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities* ». Citons un autre nom fondamental : A. Turing, illustre père d'un automate calculateur théorique universel, dit « machine de Turing », dont l'influence a été déterminante dans l'émergence des ordinateurs actuels. A. Turing était convaincu que l'ordinateur permettrait de reproduire des comportements intelligents à tel point qu'il publiera en 1956 un article devenu mythique, intitulé « Computing Machinery and Intelligence » [TUR-95], et dans lequel il proposera ni plus ni moins qu'un test empirique permettant de valider le comportement intelligent d'un ordinateur. En bref tout cela peut être vu, comme un projet tout à fait cohérent avec l'épistémologie classique naïve⁷ : la pensée est

⁶ : En aucun cas je ne présente ici la position épistémologique de Simon lui-même, dont on montrera d'ailleurs par la suite que son projet de recherche global cautionne de nouvelles formes épistémologiques alternatives à l'épistémologie classique. Le propos, ici, est simplement de montrer qu'appliquée à la lettre, le projet SIP peut apparaître, via les méthodes et savoir, un projet cohérent avec une épistémologie classique.

⁷ : La encore je ne me prononce pas quant à l'appartenance épistémologique à laquelle aurait appartenu Boole ou Turing. Je veux simplement mettre en évidence une cohérence qui peut être tenue possible, par les tenants d'une épistémologie classique que se soit dans sa forme naïve, ou dans une autre forme.

un objet qui peut se ramener à des outils via les méthodes et savoir de l'informatique. Et la conception n'étant après qu'une activité de la pensée ...

III.b.2.e L'approche OSMO dans le cas de la gestion des connaissances

Une application stricte de l'épistémologie classique naïve, ou comment la gestion des connaissances sur les objets se ramène à de la capitalisation de savoirs, de méthodes et d'outils

Enfin lorsqu'il s'agit d'aborder l'activité de gestion des connaissances, la mise en œuvre avec une approche OSMO semble évidente. Dans le cadre de la théorie de la décision, on capitalisera les savoirs que sont les modèles mathématiques paramétrés décrivant l'ensemble des possibilités ainsi que les méthodes d'optimisation. Dans le cadre de SIP, l'approche idyllique pour gérer la connaissance est synthétisée par un passage issu de [CRE-97] (page 392) qui cite lui-même un passage issu de [MIC-85] (page 148), datant de 1985, parlant des espoirs que l'on pouvait placer dans les approches d'intelligence artificielle et de leur techniques, type bases de connaissances:

«On peut s'attendre à l'avènement de toute une industrie [...] fondée sur un nouveau type d'usine, la « raffinerie de connaissances » qui, engrangeant les connaissances brutes des spécialistes, les débarrassera de leurs erreurs, les accordera, comblant les manques lorsque le besoin s'en fait sentir, et délivrera des connaissances précises, éprouvées et certifiées exactes [...]. Que même une fraction du savoir pratique accumulé au fil des siècles puisse être ainsi passée au crible, rassemblée et transformée en connaissances exactes et utilisables, et ce serait déjà une bénédiction pour l'humanité»

Tous les travaux cités précédemment, en s'inspirant de l'approche SIP, ont en commun de gérer les connaissances dans cet esprit. En bref, faire de la connaissance sur les objets un objet lui-même qui sera implanté dans des outils via des méthodes et des savoirs.

III.b.2.f Conclusion sur les fondements d'une application stricte de l'approche OSMO : une exclusion de l'acteur humain justifiée par l'épistémologie classique naïve

L'épistémologie classique naïve préconise une objectivation par l'exclusion de l'acteur humain. Toute démarche l'introduisant est hors cadre épistémologique, donc hors cadre scientifique, ce qui non seulement exclu l'acteur humain, mais interdit toute tentative de l'introduire, car cette tentative ne serait pas scientifique. La seule introduction possible de l'acteur humain est celle d'une rationalisation et d'une formalisation de son savoir (cf. approche SIP), qui revient au bout du compte à l'exclure à nouveau.

Une application stricte de l'approche, donc une étude de la simulation et de la conception uniquement via les objets, les savoirs, les méthodes et les outils, se trouve complètement légitimé scientifiquement dans ce cadre, et l'on peut même dire que tout ce qui s'écarte de cela serait hors science.

Enfin, la théorie de la décision et la théorie SIP, les deux théories dominantes de la conception, semblent en cohérence avec cette épistémologie et ce projet de voir la conception comme un objet qui peut être fiabilisé et objectivé dans des outils via des savoirs et des méthodes.⁸

⁸ : Se pose la question d'introduire la théorie connexioniste comme une 3^{ème} théorie de la conception. C'est en partie vrai. Si cette approche a engendré l'approche des réseaux de neurones, utilisée en génie électrique pour faire de la commande [BET-95], ... Elle n'a néanmoins pas eu l'impact de la théorie de la décision ou de systèmes expert ou sens où elle n'a pas été un mythe rationnel pouvant aller jusqu'à avoir une influence sur les organisations [HAT-92] et un positionnement possible et concurrentiel par rapport aux ingénieurs. Elle est plutôt restée une technique utilisée pour certaines applications particulières comme la commande.

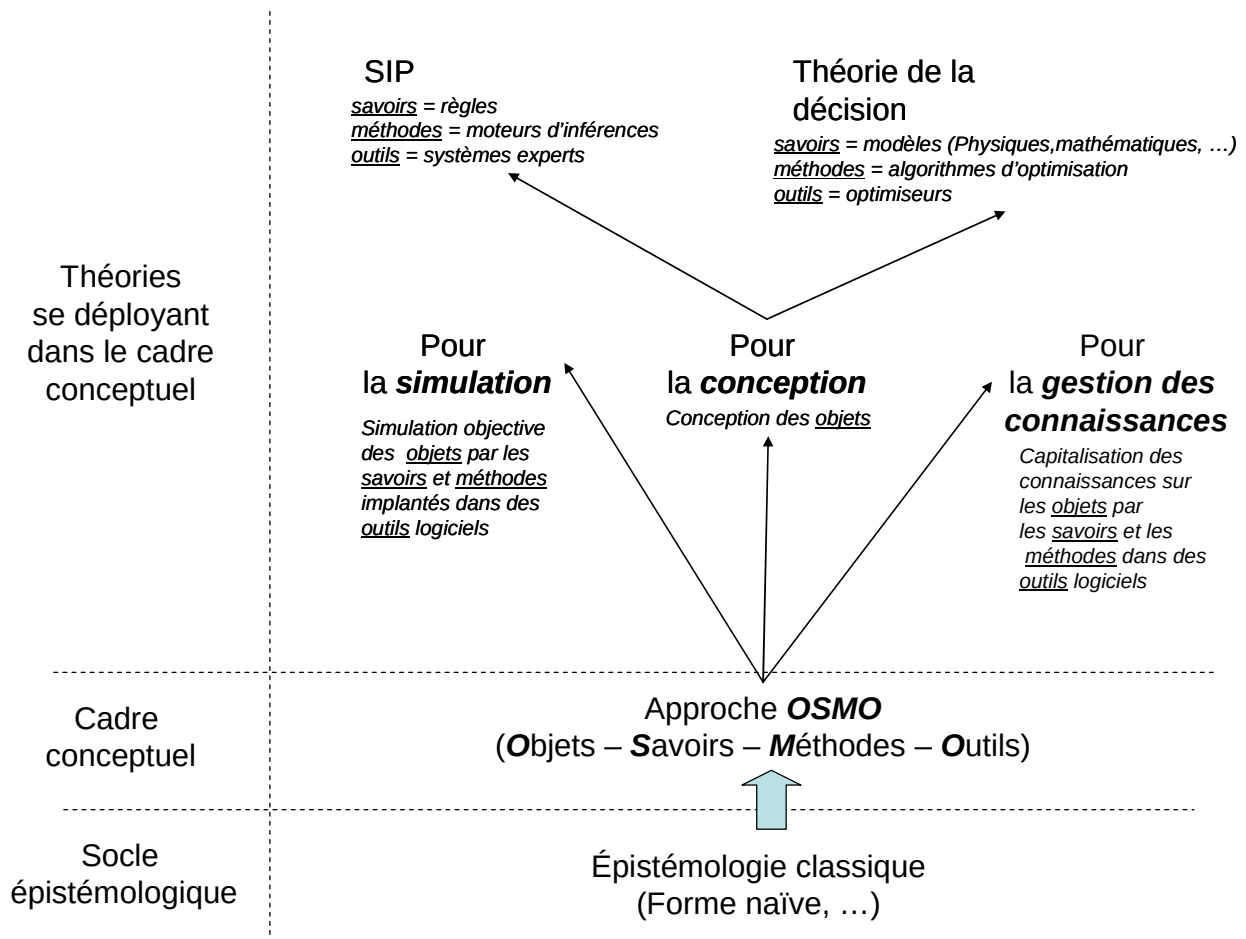


Figure III.1: La thèse de l'approche OSMO : une approche de la conception ayant pour objets d'études principaux les Objets-Savoirs-Méthodes-Outils car une approche qui s'appuie sur un socle épistémologique de type classique

III.b.2.g La crise des épistémologies classiques excluant les acteurs humains

- ***La crise des épistémologies classiques dans les sciences en général***

Un rapide passage par l'histoire des sciences, montre les limites, et la crise, d'une approche des sciences se plaçant exclusivement dans un cadre épistémologique classique.

Cette crise peut s'argumenter assez aisément en montrant que chacune des réponses formulée aux questions Q1, Q2 et Q3, comme cela est synthétisé dans le tableau III.2° s'est trouvé en difficulté dans l'histoire scientifique du XIX^{ème} et du XX^{ème} siècle. Or si ces réponses sont en crise, les fondements, et par suite l'approche globales sont en crise.

Q1 : Crise des hypothèses sous tendant la nature des connaissances	Pour l'hypothèse ontologique : L'exemple du domaine de la physique où le principe ontologique a le plus été mis à mal est la physique quantique. Il est impossible, dans cette discipline, qui est pourtant la discipline de la physique la plus précise que nous ayons et qui a fait les prévisions les plus fines dont nous disposons [GRIB-94], de séparer l'observateur du phénomène observé, et donc il y semble impossible d'accéder à cette vision ontologique, du dispositif ou du phénomène physique indépendant de cet observateur. Un autre argument apporté par la physique quantique quant à l'impossibilité d'accéder à la réalité ontologique des choses est le principe d'incertitude. Celui-ci montre qu'il est impossible de connaître totalement et objectivement un système. Si l'on représente par p la composante de position d'une « particule », et par q la composante correspondante de la quantité de mouvement, si on appelle Δp et Δq respectivement les incertitudes portant sur leur détermination à un instant donné, la première relation de Heisenberg s'énonce $\Delta p \times \Delta q \geq h$, où h est la constante de Planck. C'est une incertitude de principe, une limite de nos connaissances, et non une limite de nos appareils de mesure [BAL-06]. La physique est ainsi emblématique de la crise de l'hypothèse ontologique : c'est sur cette hypothèse ontologique qu'elle s'est largement construite, et que se sont construites des disciplines comme la mécanique, la thermique, l'électromagnétisme, ... la physique quantique comme l'une des dernières apportées au 20^{ème} siècle, et c'est dernière pierre à fait vaciller le fondement ontologique. Tout s'est passé comme si l'observateur qu'on a prié discrètement de sortir par la porte, semble être rentré à nouveau par la fenêtre ! Cette crise de l'hypothèse ontologique est ainsi résumée dans [BAL-06] : « <i>C'est le XIX^e siècle, dans la mesure où il a fait de la mécanique l'archétype des sciences expérimentales, sources de toute action technique efficace, qui a pratiquement identifié « science » et « déterminisme ». Lorsque, dans un contexte idéologique bien différent, celui des années 1920-1940, les premières découvertes de la physique quantique ont ébranlé la représentation du réel héritée de l'ontologie classique, la « crise du déterminisme » a dû apparaître (ou a pu être donnée) comme le symptôme d'une crise plus radicale : celle de la science et de la raison.</i> » Crise de l'hypothèse déterministe : Deux révolutions scientifiques majeures du XX^{ème} siècle ont montré que la nature des phénomènes physiques ne se résumait pas qu'à des phénomènes déterministes. Au niveau microscopique la physique quantique nous décrit un monde fondamentalement indéterministe [ZWI-00], [BAL-06]. On pouvait, dans un premier temps penser que cet indéterminisme fondamental n'était confiné qu'aux phénomènes microscopiques [ZWI-00]. La théorie du chaos, apparue à partir des années 1960 montre que l'indéterminisme fondamental fait aussi parti du niveau macroscopique [ZWI-00]: les phénomènes chaotiques sont en effet des phénomènes macroscopiques, caractérisés par des lois non linéaires qui peuvent être parfaitement connues, mais la prévision de l'évolution temporelle de ces phénomènes est impossible au delà d'une certaine limite de temps. Cette évolution temporelle peut en effet diverger dans des directions tout à fait différentes en fonction de variations des grandeurs d'états initiaux inaccessibles à la mesure. L'atmosphère et la météo sont le contexte et le domaine où cette théorie a définitivement émergée avec la célèbre métaphore du battement d'aile du papillon. Loin d'être marginale cette réalité concerne aussi les dispositifs de génie électriques dont certains dispositifs dans certains modes de fonctionnement peuvent être soumis aux lois du chaos (voir [ALI-03], [ROB-00] traitant du chaos et son contrôle dans des moteurs pas à pas).
Q2 : Crise des principes avec lesquels les connaissances sont produites	Crise de l'analyse réductionniste : Le principe d'analyse réductionniste a pu être érigé en principe de compréhension et de production des connaissances scientifiques jusqu'au cours du XX^{ème} siècle. La première théorie à contredire ce principe d'établissement de la vérité est la mécanique statistique, élaborée dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle notamment par Boltzmann. Selon l'article « Statistique (Mécanique) » de l'Encyclopedia Universalis [JAN-06]: « <i>La mécanique statistique a pour but d'expliquer les propriétés de la matière, en particulier ses propriétés thermiques, à partir des lois de la mécanique auxquelles obéissent les atomes et molécules dont elle est formée (et, plus généralement, d'expliquer les propriétés des systèmes</i>

Tableau III.2 : Crise des fondements de l'épistémologie classique dans les sciences en général

et constituées	<i>composés d'un grand nombre de particules) ».</i> La brèche dans le principe réductionniste est, que dans cette discipline, on renonce à repartir de chacun des constituants de la matière puisqu' :«il n'est pas possible de décrire le comportement individuel des quelques 10^{23} atomes qui constituent 1 gramme d'eau; que ferait-on d'ailleurs de la liste complète de leurs positions à un instant donné, liste qui remplirait environ 10^{20} pages imprimées ? ». Outre ces considérations pratiques, il y a fort à parier que si l'on pouvait effectivement écrire les équations d'évolution du comportement des atomes dans un gaz, en intégrant les équations de la mécanique, à partir de la connaissance des conditions initiales (position vitesse de chaque atome), le système serait certainement chaotique (donc avec une évolution temporelle impossible à prévoir, car trop sensible aux incertitudes sur les connaissances initiales). Ces arguments du nombre de particules, et du probable caractère chaotique nous fait donc recourir à une description à caractère statistique et donc nous fait renoncer à l'objectivité exhaustive. Par ailleurs l'idée qu'en repartant du plus petit élément possible, avec le plus d'informations possibles nous donnera plus de fiabilité et de précision est battue en brèche. <u>Crise du principe de raison suffisante :</u> Au début du XX^{ème} siècle on pouvait penser que tout pouvait se mécaniser mathématiquement, y compris le raisonnement mathématique lui-même ce qui serait l'idéal absolu d'une raison suffisante mathématique. Ainsi le mathématicien D. Hilbert initie au début du XX^{ème} siècle un vaste défi de recherches visant à trouver un système formel, donc logique, mécanique et fini, (autrement dit du type OSMO) capable d'automatiser et de rendre sûr et certain le raisonnement mathématique [ZWI-00]. Ce système formel devait être consistant (ce qui signifie toujours cohérent avec lui-même en ne se contredisant jamais) et complet (ce qui signifie capable d'accéder à toutes les vérités du domaine). Le résultat de ce projet fut la démonstration de son caractère illusoire. C'est en effet ce que démontra le logicien K. Gödel grâce à son théorème d'incomplétude publié dans les années 1930 [GOD-89]. Il y démontre qu'un système formel fini ne peut pas être consistant et complet : ce résultat doit nous résigner à renoncer définitivement au rêve de système formel fini consistant et complet capable de prouver de façon sûre et certaine toutes les vérités d'un domaine tel que les mathématiques (rigoureusement le résultat s'applique dès que le système formel doit utiliser l'ensemble des entiers naturels, ce qui est bien souvent le minimum pour avoir un système formel intéressant).
Q3 : Crise de la méthode avec laquelle les connaissances sont validées	<u>Crise de la validation par l'expérimentation :</u> Nul ne songerait plus à contester le caractère indispensable et incontournable de l'expérimentation. Ce caractère nécessaire étant compris, on peut vite en déduire que l'expérimentation est suffisante pour valider une théorie ou un modèle. K. Popper, dans le climat de crise scientifique existant au début du XX^{ème} siècle (on peut citer notamment le détronement de la physique newtonienne au profit de la relativité d'Einstein pour cadre d'explication de l'univers, et ceci malgré l'immense succès expérimental de physique newtonienne) a montré qu'il n'en était rien. Il met en évidence les limites de la validation expérimentale : celle-ci est certes en mesure d'éliminer les théories fausses (et donc les modèles faux), par contre une expérimentation, même une multiplication d'expérimentations n'est pas en mesure de prouver définitivement une théorie (idem donc pour les modèles). Il reste toujours la possibilité de tomber dans un cas, un contexte où la théorie, le modèle s'avèreront faux. Ce résultat limite autant la portée de l'expérimentation, que le statut des théories, puisque cela induit qu'une théorie scientifique n'est pas prouvable, elle n'est que réfutable [POP-34].

En bref si l'épistémologie classique, en particulier sa forme naïve, veut faire de la science un isomorphisme avec la nature de l'univers basée sur des fondements sûrs et des mécanismes de raisonnement absolument fiables: comme nous le montre le tableau III.2°, ce statut s'est effondré. Il semble à présent clair que la complexité de l'univers ne saurait être, uniquement, expliquée dans le cadre posé par l'épistémologie classique. Cette mise au point et les questionnements épistémologiques qu'elle induit fait l'objet des références [BAL-06], [ESP-03], [ZWI-00]. E. Morin dans la méthode tome 3, « La connaissance de la connaissance » [MOR-77], fait aussi état de cette crise de l'épistémologie classique dans une partie intitulée « La crise des fondements » page 14.

• ***La crise de l'épistémologie classique naïve pour l'étude de la conception en particulier***

Dans la partie précédente nous avons fait une synthèse des symptômes de la crise de l'épistémologie classique, et donc à fortiori de sa forme naïve pour les sciences en général, et pour la physique en particulier. Nous allons essayer de renforcer cette crise épistémologique, en se focalisant plus particulièrement sur les activités de conception. Nous allons en effet montrer l'inadéquation de l'épistémologie classique naïve en vue l'étude de ces activités. Inadéquation signifiant, indiquons le tout de suite, non pas inutilité, mais impossibilité de se restreindre au cadre seul proposé par l'épistémologie classique.

Inadéquation des hypothèses ontologiques et déterministes pour la conception,

Si les hypothèses ontologiques et déterministes étaient valables, cela signifierait que tout problème de conception produirait la même solution et selon le même processus, de façon déterministe et indépendant des acteurs impliqués. Cela semble absurde, incapable notamment d'expliquer les processus concernant l'innovation, surtout lorsque celle-ci est radicale.

Inadéquation de la méthode de l'analyse réductionniste pour la conception

Une approche réductionniste de la conception peut mener à des aberrations. Cela est bien connu dans le domaine de l'optimisation, pour lequel on peut démontrer que l'optimum du système n'est pas égal à l'optimum des systèmes pris isolément [MES-07]. Cela encore une fois ne rend pas le principe de réduction et de décomposition inutile en général, et dans la conception en particulier, cela montre simplement qu'il n'a pas valeur de vérité absolue et qu'il peut être mis en défaut.

Inadéquation du principe de raison suffisante pour la conception

Le principe de raison suffisante, appliqué à la lettre implique que tout résultat et tout processus de conception est le résultat d'un raisonnement mathématique et logique, à base de connaissances et de théories de base. Or ceci ne s'applique pas complètement en conception et peut être illustré ici encore une fois dans le cadre des innovations radicales. En effet nombre d'innovations semblent sortir d'un cadre logique, déductif et mathématique :

- Soit qu'elles sont le fruit de la chance. Ainsi Hertz découvre par Hasard le rayonnement électromagnétique [SCV-95]
- Soit qu'elles peuvent résulter d'un processus ou de raisonnements hors déduction logique au moment de leur émergence, car utilisant des connaissances non disponibles au moment de cette émergence. Ainsi la première tentative fructueuse de liaison de l'Amérique à l'Europe par voie hertziennne réalisée en 1901 par Marconi était illogique. En effet les ondes se déplaçant en ligne droite, elles ne pouvaient suivre la courbure terrestre pour rendre l'innovation possible. En fait cette innovation utilisait l'ionosphère dont l'existence était inconnue en 1901 ainsi que le rappelle [CER-06] :

« Si Balfour Stewart, dès 1882, prévoyait l'existence d'une couche conductrice dans la haute atmosphère pour expliquer la variation diurne du

champ magnétique terrestre observée au sol, il fallut attendre encore vingt ans pour que Arthur Kennelly et Oliver Heaviside reprennent cette idée en vue d'interpréter la première liaison hertzienne entre l'Europe et l'Amérique effectuée par Guglielmo Marconi : cette couche conductrice joue le rôle de réflecteur pour les ondes radioélectriques et permet la transmission sur de grandes distances malgré la courbure de la Terre. La théorie de la propagation des ondes radioélectriques dans un milieu ionisé (plasma) ne fut développée que beaucoup plus tard par Edward Appleton et Douglas Hartree (1931), confirmant l'interprétation de Kennelly et Heaviside. »

Donc cette innovation n'a pas été déduite logiquement et formellement des connaissances et des théories fermement établies. C'est tout à fait l'illustration du phénomène inverse : c'est l'innovation radicale qui a fait avancer les connaissances (la découverte de l'ionosphère, mise au point ultérieure de nouvelles théories, ...)

Ces exemples montrent que la conception doit pouvoir passer par des phases de disjonction par rapport à la logique, et par rapport aux connaissances de bases disponibles à un instant donné, et les résultats de la conception ne peuvent se résumer qu'à des purs produits par application de la raison suffisante.

Inadéquation de l'expérimentation pour la conception

Les limites théoriques de l'expérimentation, comme critère de validation des théories ont déjà mises en évidence par Popper : un succès ne peut pas définitivement confirmer une validité. Ceci est encore plus à nuancer dans le cadre de la conception, où l'on considère en pratique des approches valides, bien que l'on sache pertinemment qu'il existe des situations où elles sont en échec. Citons le cas des algorithmes d'optimisation déterministes de type gradient, dont on sait qu'ils sont potentiellement en échec avec des problèmes à optima multiples. C'est plus généralement le cas d'une approche telle que PASCOSMA [WFT-96], pour laquelle nous avons connu un échec notable : ainsi n'avons-nous pas réussi à dimensionner des filtres pour application domotique, en raison d'une courbe de réponse plate sur la plus grande partie du domaine de fréquence, donc sans pente, paralysant ainsi la stratégie de recherche basée sur le gradient. Ceci ne nous a pas amené pour autant à considérer l'approche comme du coup invalide, et nous avons continué à l'appliquer sur d'autres applications (machines, actionneurs, ...) avec succès.

Nous admettons donc pour « performante » une approche qui aurait du être éliminée si l'épistémologie « classique » avait été appliquée à la lettre, puisqu'il existe, au moins un cas où elle ne fonctionne pas !

En bref, Il résulte donc des développements précédents que :

- l'épistémologie classique est en crise, ce qui induit immanquablement la crise de sa version naïve qui en est quelque part une émanation extrémiste
- l'épistémologie classique, appliquée brutalement à la lettre n'est pas adaptée à l'étude de la conception.

Or si une approche OSMO stricte est une application stricte de l'épistémologie classique naïve, alors la crise de l'un implique la crise de l'autre. Pour comprendre et trouver des explications à la crise de l'approche OSMO en conception, il convient dès lors de chercher des explications au niveau du cadre épistémologique. C'est cela qui justifiera notamment le nouveau cadre épistémologique que nous caractériserons dans le chapitre IV, cadre nécessaire pour une science de la conception.

III.c Comment surmonter la crise de l'approche OSMO

L'argumentation qui précède vise à argumenter que la crise de l'approche OSMO pourrait être une crise induite par l'épistémologie dans lequel elle s'inscrit, du type classique, ou classique naïve. Ainsi en travaillant sur cette perspective épistémologique, nous allons pouvoir commencer à définir des pistes pour surmonter la crise. Il ne nous reste plus qu'à focaliser sur ce qui est à remettre en cause dans cette épistémologie, ce qui va nous ouvrir la voie pour d'autres épistémologie et d'autres approches de la recherche pour la conception ce qui fera l'objet des chapitres ultérieurs. En attendant nous finirons cette partie en tirant quelques conclusions sur des orientations de recherches que nous pouvons d'ores et déjà établir

III.c.1 Intégration de l'acteur humain

La première piste est l'intégration de l'acteur humain. L'épistémologie classique, et sa version stricte naïve, mettent en avant une conception de la science dans laquelle doivent être exclus les acteurs (ici les concepteurs/modélisateurs). C'est là l'hypothèse de base qui peut être remise en cause.

III.c.2 Utilisation de nouveaux cadres épistémologiques

Cette intégration de l'acteur humain va passer par la définition de nouveaux cadres épistémologiques qui légitimeront l'intégration et le positionnement des acteurs humains, en légitimant scientifiquement cette démarche.

III.c.3 Le renoncement à une perspective d'automatisation de la conception

D'ores et déjà les perspectives tracées, en renonçant à une perspective de conception hors acteurs humains, vont impliquer une renonciation à une automatisation de la conception par des « outils logiciels surs et certains ».

III.c.4 Pour aller vers de réelles perspectives d'une vision complète de la conception : de l'innovation à la simulation, en passant par le dimensionnement et la gestion des connaissances

On peut aussi déjà penser qu'on va pouvoir élargir l'horizon et le spectre de recherches. Avec l'approche OSMO, enfermé dans un cadre stricte et naïf, on se contraignait à une vision très formelle de la conception qui a incontestablement fourni des avancées considérables pour:

- les activités de dimensionnement grâce à l'optimisation et à la théorie de la décision,
- dans la simulation avec toutes les méthodes et outils de simulation numérique
- dans la gestion des connaissances en permettant de formaliser et de capitaliser des savoirs toujours plus nombreux sur les méthodes les outils, ...

Cependant des aspects pourtant fondamentaux comme l'innovation, ont été de fait pas ou peu abordés en génie électrique, sauf bien sûr par certaines formes de l'approche SIP qui ont proposé de gérer l'innovation par des approches type intelligence artificielle [ROB-01], mais avec une efficacité partielle, et il paraît difficile de dire que nous répondrons aux enjeux du futur du génie électrique (énergie, applications biomédicales, ...) grâce aux innovations émanant de ces systèmes. Cela paraît d'autant moins pertinent que les recherches sur ce type d'outil sont en crise, puisque le nombre de travaux sur ces approches a décliné pour quasiment disparaître.

Ainsi en mettant en évidence la crise de l'approche OSMO dans un cadre classique naïf, on va pouvoir définir de nouvelles perspectives en termes d'approches pour la

conception. Celles-ci, en intégrant l'acteur humain vont offrir de nouvelles pistes pour répondre aux enjeux scientifiques, techniques et sociétaux du génie électrique sur les aspects dimensionnement, simulation, gestion des connaissances et innovation.

Résumé introductif du chapitre IV

Le chapitre III proposait la thèse d'une crise d'une approche stricte OSMO (Objets Savoirs Méthodes Outils), crise que l'on propose d'expliquer en disant qu'elle pouvait résulter d'une mise en œuvre « zélée » d'une épistémologie de type classique naïve. L'ensemble aboutit en une conception de la conception qui s'intéresse exclusivement aux Objets, aux Savoirs, aux Méthodes et aux Outils sans prendre en compte les concepteurs/modélisateurs.

Le chapitre IV va à présent montrer que d'autres approches épistémologiques, donc en fait d'autres cadres scientifiques sont possibles. Celles-ci permettent d'intégrer les Concepteurs/Modélisateurs. Elles donnent aux connaissances un statut d'entités construites par les concepteurs, dépendantes pas seulement des objets et des phénomènes à concevoir, mais aussi de paramètres comme le contexte, les objectifs du concepteur, ... En cohérence avec un certain nombre d'auteurs sur les théories de la conception, nous montrerons que ces épistémologies sont à la fois des produits, et des conditions nécessaires pour mener une réelle étude scientifique de la conception.

Dès lors nous que aurons caractérisé cette épistémologie, cela nous permettra de définir et d'intégrer de nouvelles théories et hypothèses pour :

- de nouvelles conceptions de la conception donnant de cette activité une représentation avec des propriétés complexes (non déterminisme, sachant tirer partie de l'incertitude, du bruit, ...), ne pouvant émerger que dans le cadre de systèmes intégrant des concepteurs modélisateurs qui apportent des ressources non accessibles aux ordinateurs et processus rationalisés (comme la maturation, l'intuition, la capacité à donner du sens au fortuit et l'aléatoire, la capacité à poser des hypothèses, à établir des stratégies, ...)
- de nouvelles conceptions de la gestion des connaissances qui font de la connaissance un objet avec une part explicitable et une part implicite portée par le « savoir-faire » des Concepteurs/Modélisateurs qui leur permet de réagir en situation tout en étant incapable de formaliser a priori exhaustivement quel sera leur comportement.

Cela nous permettra:

- de caractériser des activités complexes qui ne peuvent relever que des Concepteurs/Modélisateurs (comme le fait de poser un problème avec des hypothèses) et des activités compliquées qui sont plutôt du ressort d'un ordinateur (comme le fait de résoudre un problème bien posé avec des techniques d'optimisation) et d'argumenter sur ces bases que la conception n'est entièrement formalisable et automatisable
- de montrer que sont ainsi rendus possibles l'étude de problèmes comme l'innovation, ou la Conception Collaborative dans lesquels les Concepteurs/Modélisateurs sont considérées comme des ressources incontournables.

Cela nous permettra en fait de proposer et de légitimer une nouvelle approche de la conception. Cette approche préconise de, tout en continuant à s'intéresser aux Objets, aux Savoirs, aux Méthodes et aux Outils, d'intégrer de nouveaux objets d'études qui sont :

- des Systèmes,
- des Connaissances,
- des Compétences,
- et des Organisations,

qui auront tous en commun d'être portés, ou de mettre en relation des Concepteurs/Modélisateurs. C'est ce que nous appellerons l'approche SCCO : Systèmes, Connaissances, Compétences, Organisation.

Partie IV: Nouvelles conceptions de la conception pour le Génie électrique: vers l'approche « Systèmes - Connaissances - Compétences - Organisations» (SCCO)

IV.a La nécessité d'un nouveau cadre épistémologie pour une discipline de la conception intégrant l'acteur humain

IV.a.1 La nécessité d'un nouveaux cadre épistémologique en réaction à la crise de l'épistémologie classique et pour fonder une discipline de la conception

Un ensemble de disciplines nouvelles ont émergé au cours du XX^{ème} siècle (la cybernétique, la conception, les sciences de la complexité, ...): ces disciplines ont contribué à construire des cadres épistémologiques autres que l'approche classique. Lemoigne a recensé ces disciplines et a décrit la genèse à l'origine de ce bouleversement [LEM-99]. Il a distingué les différentes nuances des nouvelles épistémologies, tout en les classant toutes dans une famille qualifiée d'épistémologies constructivistes.

L'une des disciplines phare, à l'origine de ce renouvellement épistémologique est justement « la conception » vue comme une discipline. Ainsi Simon (considéré comme le père fondateur de la conception vue comme une discipline) est vu par Lemoigne comme un des contributeurs à la constitution de ces épistémologies qui viennent en réaction à l'approche classique. Ainsi, lorsque nous avons classé précédemment l'approche SIP, dont Simon est aussi le père fondateur, comme cohérente avec l'approche classique, il ne s'agirait que d'une cohérence apparente, ou naïvement apparente. De même E. Morin, de par ses écrits en général, et ceux en particulier sur la conception [MOR-77] (avec notamment le concept de concepteur/modélisateur [MOR-02]), est vu comme un des initiateurs de cette nouvelle épistémologie indispensable pour l'étude de la conception.

En bref, la nouvelle épistémologie qualifiée de constructiviste se justifie au moins pour deux raisons fondamentales de notre point de vue :

- elle propose une alternative à l'approche classique en crise, en offrant un cadre scientifique permettant l'intégration de l'acteur humain
- la légitimation de cette épistémologie s'est faite par l'émergence de propositions de disciplines nouvelles dont la conception. Ceci fait de cette analyse épistémologique une clef de voûte fondamentale pour l'étude de la conception, car cette nouvelle épistémologie est à la fois la condition et le produit d'une discipline de la conception.

IV.a.2 Caractérisation d'un nouveau cadre épistémologique possible: le constructivisme

Nous reprenons ici la grille de caractérisation en 3 questions proposée par Lemoigne [LEM-99], pour caractériser la nouvelle épistémologie constructiviste en écho de la caractérisation de l'épistémologie classique naïve déjà réalisée (voir tableau III.1). Nous illustrerons ensuite ce que cette nouvelle épistémologie peut avoir comme signification concrète dans le génie électrique.

Q1 : Quelles hypothèses sous tendent la nature des connaissances ?.	2 hypothèses	1° L'hypothèse phénoménologique : L'hypothèse phénoménologique suppose que les connaissances ne sont pas définis intrinsèquement par la nature des dispositifs. Ce que nous connaissons, théorisons et modélisons est la perception que nous en avons, dans un contexte donné. Il en résulte que les théories, les modèles, ... n'ont pas valeur de vérité intemporelle, indépendante des observateurs, mais sont des connaissances dynamiques continuellement remaniables pour s'adapter à de nouveaux contextes, ... Cette hypothèse propose une alternative à l'hypothèse ontologique du cadre classique (signifiant l'accès à l'essence et à la nature des objets indépendamment de la perception des concepteurs – modélisateurs) 2° L'hypothèse téléologique : L'hypothèse téléologique suppose que les théories et modèles sont dépendants des objectifs à atteindre par le concepteur/modélisateur dans le contexte. Ceci vient en opposition à l'hypothèse déterministe : la nature des savoirs, des connaissances devient à présent aussi liée aux fins, alors qu'elle était plutôt exclusivement déterminée par la nature et l'essence des objets dans l'approche classique, qui étaient vues comme la cause déterminante de leur nature. Pour le dire encore autrement : c'était uniquement la nature des choses qui déterminait la nature de la connaissance, alors que l'hypothèse téléologique, suppose que c'est aussi le but du projet qui va fixer la nature du savoir. Cela introduit à nouveau le concepteur - modélisateur qui définit et construit ces buts et ce projet.
Q2 : Comment les connaissances sont-elles être produites ou constituées?	2 principes	1° Le principe de la modélisation systémique : les connaissances sont le résultat d'un processus de construction global, dépendant bien sûr de l'objet, mais aussi du contexte, des objectifs, de l'observateur ... Ce principe relativise le principe de l'analyse réductionniste au sens où il prend acte du fait que pour faire l'étude d'un système, on ne peut pas systématiquement le réduire à l'étude de ses parties prises isolément. Autrement dit émerge au niveau du système des propriétés que l'on ne peut déduire de l'étude des composants pris isolément. Il faut donc considérer les connaissances, les théories et les modèles dans leur globalité, intégrés dans leur contexte et leurs objectifs. L'observateur fait aussi pleinement partie du système, notamment dans l'élaboration des modèles, dans le sens où ce qu'il modélisera est la perception qu'il a de ces phénomènes. Ce principe vient en complément ou en opposition de l'analyse réductionniste de l'épistémologie classique naïve. 2° Le principe d'action intelligente : les connaissances sont argumentées (et non démontrées), et sont tenues pour possibles (et non vraies). Ce principe vient en complément ou en en opposition du principe de raison suffisante de l'épistémologie classique naïve.
Q3 : Comment la validité des connaissances est-elle appréciée ?	1 critère	En s'inspirant de [LEM-99], on peut proposer comme critère principal d'évaluation des connaissances, pour surmonter les limites du seul principe de validation expérimental, l'effectivité ce qui signifie que les connaissances pour être valables doivent avoir : - la capacité d'être valides dans certains contextes, pour agir (comprendre, prendre, des décisions, ...) avec un résultat efficace permettant notamment de mener à bien les projets

		des concepteurs/modélisateurs - tout en sachant qu'elles peuvent être simultanément non valides dans d'autres contextes. Pour être ainsi effectives, ces connaissances pourront avoir comme propriétés : - L'intelligibilité, soit la capacité d'aider à la compréhension, à l'aide à la décision pour les acteurs humains, ... - La capacité à être délibérables, donc confrontables à l'expérimentation, mais pas seulement, aussi à l'argumentation, à la critique, au débat, ... - ...
--	--	---

Tableau IV.1 : Caractérisation de l'épistémologie constructiviste proposée comme alternative à l'épistémologie classique du tableau III.1 (Inspiré de [LEM-99])

Mise en contexte dans les activités de conception du génie électrique:

Avant de continuer, et surtout parce que ce cadre épistémologique peut être déroutant pour ceux dont la sensibilité naturelle allait du côté des épistémologies classiques, nous allons les remettre dans le contexte de l'activité de conception en génie électrique.

Commençons par illustrer les hypothèses phénomologiques et téléologiques. Pour cela prenons le savoir associé que constituent les modèles physiques paramétrés (cf. figure I.3).

A l'extrême, dans le cadre de l'épistémologie classique naïve, ce savoir prenait le statut d'un savoir image fidèle de la nature du dispositif (hypothèse ontologique), donc uniquement déterminé par cette nature, et fournissant toujours les mêmes réponses pour les mêmes causes (hypothèse déterministe). Avec les nouvelles hypothèses, le modèle prend plutôt le statut d'une perception des phénomènes dimensionnants par le concepteur en fonction du contexte (hypothèse phénoménologique), que ce contexte soit :

- extra personnel imposé par le contexte de l'étude, tant il est vrai qu'on n'utilisera pas le même modèle pour une étude de faisabilité grossière, une optimisation de forme très fine, ou si le contexte est la commande du dispositif. Ce modèle dépendra aussi du projet et des objectifs du concepteur (hypothèse téléologique), tant il est vrai qu'il va essentiellement mettre en avant les phénomènes dimensionnants qui dépendront de l'objectif du projet. Ainsi un modèle de moteur pour ascenseur devra être complexe et précis pour les phases transitoires de démarrage, tant la gestion de ces phases constituent le but du projet. Un modèle de moteur pour ventilateur pourra être tout à fait grossier pour ces phases, mais beaucoup plus précis dans la phase de régime permanent, régime quasi exclusif dans lequel ce moteur sera utilisé. Ces modèles auront donc des plages de précision et de validité fine différentes, ce qui illustre que leur nature n'est pas seulement imposée par la structure, mais aussi par le but du projet.
- personnel, tant il est vrai qu'en fonction des connaissances, compétences et expériences passées du concepteur/modélisateur, le modèle construit et utilisé ne sera pas nécessairement le même.

Le principe de modélisation systémique sera plus particulièrement mis en évidence dans le tableau IV.3°, lorsque nous détaillerons le concept de Système Complexe et les dimensions complexe de l'activité de conception. On y argumentera que des propriétés du processus de conception ne peuvent émerger que dans des systèmes complexes de conception qui doivent intégrer les concepteurs/modélisateurs.

Le principe d'action intelligente nous invite à relativiser, dans une activité de conception en génie électrique qui peut s'appuyer fortement sur des outils de calcul et de dimensionnement qui peuvent très théoriques et mathématiques, les valeurs des raisonnements que nous tenons, y compris avec ce type d'outils. Dans tous les cas, ce principe nous invite à considérer qu'il s'agit d'argumentations qui sont faites dans des cadres donnés d'hypothèses et d'idéalisations de la réalité.

Le principe d'effectivité peut s'appliquer, par exemple, aux modèles approximatifs que l'on utilise couramment en génie électrique lorsqu'on utilise des schémas équivalents (cf. le schéma équivalent de machine asynchrone de la figure I.3°). Il s'agit typiquement de connaissances qui pour un dispositif sont valables dans un contexte donné pour des objectifs donnés (modéliser globalement les transferts d'énergie en régime permanent dans le dispositif) et non valables dans d'autres contextes et objectifs (connaître par exemple la répartition locale et détaillée des champs magnétiques). Dans ce cadre, ces modèles vont donner aux concepteurs la capacité d'aider à la compréhension, à l'aide à la décision dans ce contexte, tout en pouvant être faux pour d'autres contextes et objectifs (une simulation temporelle fine de démarrage par exemple).

IV.a.3 En bref, la principale caractéristique du cadre alternatif constructiviste proposé : l'incontournable intégration des Concepteurs/Modélisateurs

La clef de voûte du cadre alternatif proposé est d'offrir un cadre épistémologique scientifique qui, en intégrant les acteurs humains comme faisant partie des systèmes à étudier, donne par ailleurs aux connaissances un statut d'objets construits par ces mêmes acteurs humains, et non d'objet donnée par la nature des dispositifs à concevoir.

Ce point de vue se prétend pertinent et peut-être une alternative pour les sciences en général, pour lesquelles une approche strictement objective et classique se voit en crise comme nous l'avons argumenté dans le tableau III.2°.

Ce point de vue est présenté comme incontournable pour l'étude de la conception comme science et discipline en particulier [LEM-99], [MOR-77], [MOR-02], ce que nous allons essayer d'argumenter en particulier dans ce manuscrit dans le contexte de la conception en génie électrique.

IV.a.4 Positionnement relatif des cadres épistémologiques constructivistes et classiques

Les épistémologies classiques et constructivistes ne doivent pas nécessairement être vues comme opposées et peuvent tout à fait être vues comme complémentaires pour aboutir non pas à une élimination de l'épistémologie classique, mais à une relativisation.

L'épistémologie classique serait ainsi plutôt l'épistémologie du savoir, de la description voire de la contemplation du monde tel qu'il est. C'est pour cela qu'elle a été pendant longtemps l'épistémologie de la science physique, et c'est pour cela qu'elle est sans doute par glissement encore (trop !) souvent l'épistémologie exclusive de l'ingénierie présentée comme science dite de physique appliquée.

L'épistémologie constructiviste serait plutôt une candidate pour l'épistémologie du savoir-faire, de l'action en situation, de ce que Lemoigne appelle en référence à Vico l'« Ingénium » [LEM-99]. Ceci est cohérent au positionnement fait par H. A. Simon entre « *natural sciences* » [SIM-69] et « *sciences of the artificial* » dans l'édition originale « *des sciences de l'artificiel* » (cité par Hatchuel dans [HAT-02]) :

Position between « natural sciences » and « Design sciences » (Simon 1969) : « the former study how is the world », the latter are concerned by « how things ought to be in order to attain goals »

IV.a.5 Intérêt d'un cadre constructiviste alternatif pour les sciences de la conception

Pour les sciences de la conception, l'intérêt d'un cadre alternatif comme l'épistémologie constructiviste est triple :

- 1° Elle peut constituer une proposition d'une épistémologie pour l'ingénieur donc d'une candidate possible d'épistémologie pour les sciences de la conception au sens science de l'artificiel, comme l'a défini Simon dans le titre de son célèbre ouvrage (« Les sciences de l'artificiel », voir [SIM-69]), concept d'artificialisme repris à présent par beaucoup de chercheurs lorsqu'ils évoquent les sciences de la conception (cf. [MIC-03] qui place une théorie de la conception sous le vocable artificialisme).
- 2° Elle représente un cadre qui va légitimer des approches pour la science en général, et pour la conception en particulier qui était illégitime dans le cadre de l'épistémologie classique. Pour l'essentiel, et comme nous le verrons par la suite, il s'agit de théories, d'approches, voire de visions des objets des méthodes et des outils qui mettront l'acteur humain au centre, alors qu'il devait être éliminé et n'était considéré que comme source de bruit et de parasitage subjectif dans le cadre de l'épistémologie classique, dans ces formes naïves ou plus subtiles. A ce titre, on peut déjà citer les sciences de la complexité dont nous parlerons de façon détaillée plus loin. Ces sciences sont notamment promues par E. Morin, qui dans « La connaissance de la connaissance » [MOR-77], insiste page 22 sur la ré-intégration du sujet, citant notamment le besoin « *non seulement d'une épistémologie des systèmes observés, mais aussi d'une épistémologie des systèmes observateurs* », or reprend Morin « *Les systèmes observateurs* » sont des systèmes humains qui doivent aussi être conçus et compris comme sujets ». Dans ce cadre, l'épistémologie constructiviste se veut être une épistémologie qui « *ne pourra se passer des acquis et problèmes des connaissances scientifiques concernant le cerveau, la psychologie cognitive, l'intelligence artificielle, la sociologie de la connaissance, etc, ...* ». Ceci introduit déjà le 3^{ème} intérêt de cette épistémologie qui est d'être une épistémologie pour l'inter-disciplinarité.
- 3° Elle représente le cadre épistémologie pour l'interdisciplinarité. Reprenant E. Morin, il s'agit donc d'une interdisciplinarité au delà de ce qu'elle est habituellement comprise en ingénierie où elle se limite à de l'interdisciplinarité entre sciences pour ingénieur et sciences dures (mathématique, physique, ...). Il s'agit en fait d'une épistémologie candidate pour l'interdisciplinarité avec les sciences humaines sociales, l'ingénierie (les sciences appliquées) et les sciences dures. Cette interdisciplinarité, et une épistémologie qui en encadre la pratique, est probablement une condition à l'étude de la conception comme discipline, puisque comme le fait remarquer Morin dans le tome 3 de la méthode page 185 [MOR-77], dans un paragraphe parlant de la conception
« *... la conception couvre tous les champs sociaux, politiques, pratiques, techniques de l'activité humaine : ainsi la constitution d'une République, le programme d'un parti ou d'un gouvernement, l'élaboration d'une théorie, d'un ouvrage d'art, le plan d'urbanisme, l'invention d'un instrument ou d'une machine (dont la conception des machines pour concevoir), la mise en scène, ... théâtrale ou cinématographique sont œuvre de conception* »

IV.b Conception et dimensionnement dans le cadre de l'épistémologie alternative: vers l'approche « Systèmes - Connaissances - Compétences - Organisations »

IV.b.1 De nouvelles conceptions pour la conception légitimes : les approches I-D, C-K, COG, S-C, ...

Nous espérons par le présent manuscrit convaincre que le cadre constructiviste est un cadre complémentaire, si ce n'est nécessaire, au moins possible. Le fait d'être convaincu de cela va permettre de rendre légitime tout un ensemble d'approches, d'hypothèses, de théories et de concepts pour la conception qui resteraient illégitimes sans cela, et trouveraient du coup peu de prise dans des communautés comme celle du génie électrique très orientées « physique appliquée ». Ainsi, nous allons citer un certain nombre d'approches de la conception qui à notre sens ne sont possibles que si l'on accepte de relativiser le cadre classique. A ce titre, on parlera ici de :

- l'approche I-D,
- l'approche C-K,
- l'approche COG,
- l'approche S-C

Ces approches sont détaillées dans le tableau IV.2. En plus de les y définir, nous y montrons :

- que ce sont des conceptions de la conception offrant des alternatives aux deux approches de la conception dominante en génie électrique : la théorie de la décision et l'approche SIP (voir paragraphe III.b.2.d), qui rappelons le peuvent apparaître en crise tout comme le cadre épistémologique classique dans lequel elle semble pouvoir s'inscrire
- que se sont des approches qui ne peuvent se légitimer que dans le cadre d'une épistémologie de type constructiviste car nécessitant une incontournable présence du Concepteur/Modélisateur (cf. figure IV.1)

Ces approches de la conception vont nous permettre, comme cela est synthétisé sur la figure IV.1:

- de rendre légitimes de nouvelles théories pour l'étude de la conception, qui elles-mêmes vont induire de nouvelles orientations pour l'étude de la conception. Ces théories sont détaillées dans le tableau IV.2. Nous nous contenterons ici d'indiquer que :
 - l'approche I-D va nous permettre de comprendre que la problématique de conception consiste tout autant à savoir poser le problème de conception qu'à savoir le résoudre. Il faudra donc se focaliser autant sur les aides à la formulation des problèmes qu'à leur résolution, ...
 - l'approche C-K va nous permettre de donner un statut à des phases de conception avec des logiques différentes. Cela autorisera donc des phases et des méthodes de conception pour l'innovation type brainstorming, où l'on peut et l'on doit sortir du cadre de la logique et des connaissances dont on dispose à un instant donné, ...
 - l'approche COG va nous permettre d'identifier des ressources de la conception qui ne sont portées que par les acteurs humains et qu'il ne sait mobiliser qu'en situation de conception: l'intuition, la maturation, la capacité à donner du sens au fortuit, ... Cela amènera à penser des « Systèmes » de conception où les acteurs humains doivent être intégrés
 - l'approche S-C va nous permettre d'identifier des activités du processus ayant des propriétés de complexité qui, tout à la fois, résultent et ne peuvent être gérées que par les acteurs humains. Ceci nous permettra par la suite de distinguer des activités « complexes » qui ne peuvent être pris en charge que par ces acteurs humains et des

activités non complexes (dit compliquées) qui elles peuvent être prises en charge par un logiciel implanté dans un ordinateur.

- D'introduire de nouveaux concepts (des nouvelles propriétés Complexes de la conception : les concepts d'Activités Complexes/Compliquées, le concept de Satisficing, la Matrice ressources/activités, ...). Ceci rendra possibles de nouvelles orientations pour l'étude de la conception.
- Tout cela va nous permettre enfin de définir de nouveaux objets d'étude en complément de ceux préconisés par l'approche OSMO : comme nous le montrerons en fin de chapitre, il s'agira des « Systèmes », des « Connaissances », des « Compétences » et des « Organisations ».

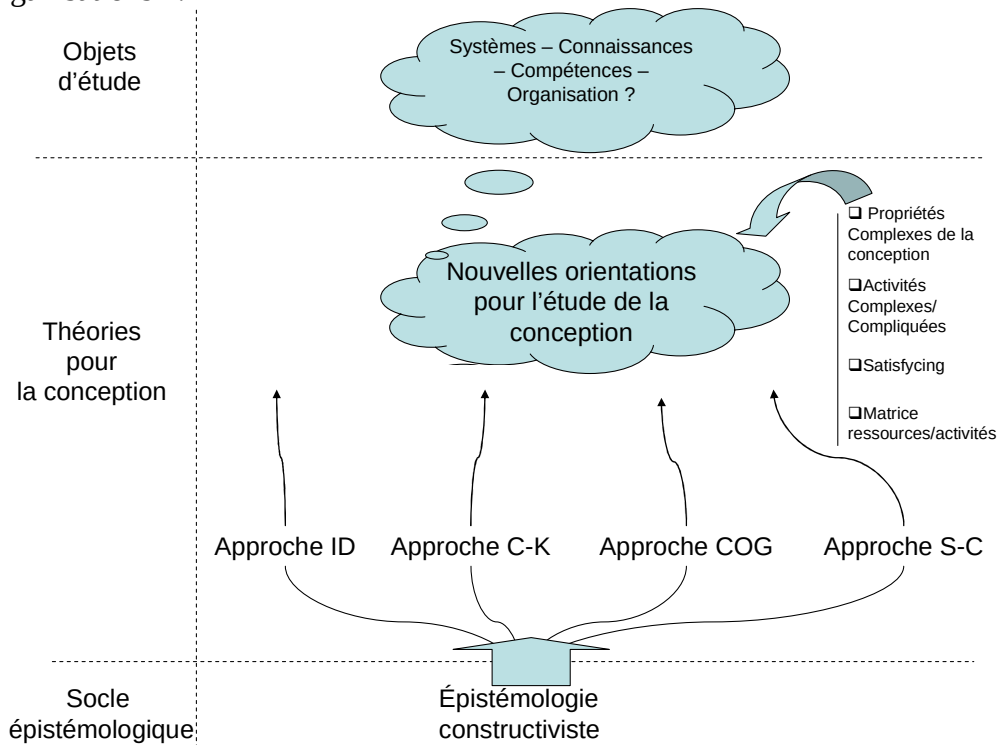


Figure IV.1°: Le socle épistémologique constructiviste rend possible de nouvelles théories de la conception et induit de nouvelles conceptions pour l'étude de la conception

L'approche I-D	I-D pour « Ill Defined » ou « Ill Structured ». Cette approche considère que la principale caractéristique d'un problème de conception est d'être un problème mal structuré et mal posé. Dès lors la conception est principalement l'activité consistant à transformer ce problème initial mal posé en un problème suffisamment bien posé pour pouvoir être résolu [VIS-04], notamment par un système formel implanté dans un ordinateur. On prête donc un rôle fondamental à cette phase négligée par l'approche SIP, pour en arriver à un point de vue inverse à SIP: Formuler le problème de conception est l'enjeu principal de la conception alors que résoudre ce problème ne serait plus qu'une question de technique de résolution. La conception n'est ainsi pas déterminée par une donnée initiale, qui serait le problème ou le cahier des charges (hypothèse déterministe). Elle est définie plutôt par le but, qui est à la fois de définir précisément quel est le problème et le cahier des charges en co-construction avec l'objet qui y répond : on est ainsi plus conforme à l'hypothèse téléologique. D'où certain travaux menés, en ergonomie cognitive [DAR-04], en mécanique et en génie industriel [LON-04], visant à étudier le processus de conception comme une co-évolution de la formulation du problème et de la solution. Ce point de vue est intéressant car il donne une importance à une phase de l'activité de conception, que le caractère mal posé du problème rend sans doute réfractaire à une automatisation logicielle. Cela signifie donc la nécessaire présence du concepteur – modélisateur, avec la pleine possession de ses moyens intégrés dans le cadre de l'hypothèse phénoménologique, et des principes de modélisation systémique, d'action intelligente, ...
L'approche C-K	Cette approche [HAT-02a], [HAT-02] modélise la dynamique de conception par un aller retour entre 2 espaces : un espace des concepts (l'espace C) et l'espace des connaissances (l'espace K). L'espace C contient des concepts qui n'ont pas de statut logique, ce qui signifie qu'au moment où on les formule, on ne sait s'ils sont vrais, faux, possibles, ..., alors que K contient des connaissances dont on sait si elles sont vraies, fausses, possibles, ... Un exemple de concepts est: C1 :« un véhicule électrique, avec une autonomie de plus de 1000 km ». Selon C-K, dès le concept formulé, la conception se poursuit par un croisement avec l'espace des connaissances K, selon plusieurs opérations, pour au bout du compte savoir si cet objet est réalisable, ce résultat final constituant une nouvelle connaissance. Dans [HAT-02a], l'esprit de l'approche C-K est plus précisément synthétisé ainsi : <i>La théorie C-K pose tout d'abord la distinction formelle entre deux espaces : l'espace des concepts et l'espace des connaissances (d'où sa dénomination issue de l'anglais "théorie C-K" : C pour concepts et K pour knowledge). L'espace des concepts contient des ensembles se déduisant les uns des autres par partition ou inclusion successives. Chaque ensemble correspond à une séquence de propositions (sous l'axiomatique ZF- « sans choix ») ayant un statut « ni vrai, ni faux » dans K. L'espace des connaissances n'a aucun ordre préalable : sa structure formelle est celle de CAT (L'ensemble des catégories en Théorie des catégories).</i> <i>Nous appelons « raisonnement de conception », la co-évolution par interaction de ces deux espaces. Le démarrage d'un raisonnement de conception est défini comme une « disjonction sémantique » (création d'un C initial à partir de K) ; l'arrêt du raisonnement par la réalisation d'une opération de « conjonction sémantique ». Nous avons aussi pu qualifier les opérateurs (C-C,C-K,K-C,C-C) qui organisent la co-évolution des espaces C-K et établir leur définition formelle dans le cadre de la théorie des Catégories.</i> L'intérêt de cette théorie est qu'elle donne un statut à des phases de la conception qui se situent hors du cadre d'une logique et d'une rationalité classique (au moins au sens naïf du terme), donc à des phases vraisemblablement réfractaires à une automatisation sous forme logicielle, donc une nécessaire présence de l'acteur humain. On commence donc à introduire des logiques, voire des dynamiques hors logiques (ainsi l'espace C ne nécessite pas de logique, les opérations de K vers C sont des opérateurs de rupture logique, la logique de K dans K peut être toute forme de logique : classique, logique métier, ...) qui nécessitent de dépasser le cadre stricte de la raison suffisante de l'épistémologie classique naïve restreinte à la logique et aux mathématiques classiques. En particulier cette théorie dépasse complètement le cadre de la théorie de la décision (de l'optimisation), et de l'approche SIP en ne faisant plus de la conception un problème de choix dans un ensemble fini de possibilités, qu'il soit guidé par des processus d'optimisation ou heuristiques, mais en fait une problématique de construction d'ensembles de concepts, de connaissances, qui ne sont pas définis par l'ensemble des combinaisons qui y existent, mais sont définis par l'ensemble de leur propriétés. On ajoute donc à la logique d'exploration, des

Tableau IV.2 : Différentes théories de la conception rendues possible dans le cadre épistémologique constructiviste

	logiques d'expansion, donc de construction de ces ensembles successifs dans le cadre des espaces C et K. Cela autorise ainsi, pendant une bonne part du processus une logique, de laquelle est exclu l'axiome du choix (cf. « ... sous l'axiomatique ZF- « sans choix » ... »), c'est-à-dire l'axiome visant à dire que pour chacun des ensembles manipulés on peut extraire un élément. On entre ainsi dans une vision logique non seulement moderne, mais en rupture avec la vision de recherche dans un espace combinatoire prédéfini. C'est seulement lorsqu'on arrive à construire des ensemble autorisant ce choix, et pouvant être décrit en terme de combinaison, que l'on approche du terme de la conception, et que l'on pourra donc choisir une ou plusieurs solutions en s'aidant notamment de la théorie de la décision ou d'approches heuristiques, et donc de logique classique de choix. Toutes ces opérations nécessitent de dépasser le carcan de l'épistémologie classique naïve. Car en effet, même si l'approche C-K est une approche très formelle, elle s'appuie sur un formalisme mathématique non fini et non computable, apte à donner une intelligibilité au processus porté par les acteurs humains, mais inapte à être automatisée dans un ordinateur. En effet, selon [HAT-02a], « <i>Elle permet de comprendre pourquoi le travail de conception est une épreuve cognitive et organisationnelle, tant individuelle que collective</i> », donc nécessitant l'intégration de l'acteur(s) humain(s). Au moins sur ce point, cette approche n'est compréhensible que dans le cadre d'une épistémologie intégrant l'acteur humain du type constructiviste, et non classique qui exclu cet acteur. Une description détaillée de la théorie C-K dépasse les possibilités du présent document, On pourra se reporter avec profit aux publications suivantes : [HAT-02], [HAT-02a], [HAT-03], [HAT-04].
L'approche COG ("Cognitive approach")	COG pour approche COGNitive. La conception y est vue comme une suite d'activités menées en situation et de manière opportuniste par des acteurs humains en vue de réduire leur charge cognitive [VIS-04], [DAR-04]: ceci se manifeste par des stratégies de raisonnement par analogie, l'utilisation de cas et de règles simples, voire simplistes, l'utilisation de l'intuition, de la maturation Cette approche s'est développée suite à l'observation de concepteurs en situation de conception [VIS-04], [DAR-04]. L'intérêt de cette approche est qu'elle identifie des activités opportunistes, sans doute impossibles à intégrer dans le cadre de la théorie de la décision et de SIP et nécessitant une intégration de l'acteur humain que l'on ne peut encore une fois légitimer sans doute que dans une épistémologie de type constructiviste.
L'approche S-C ("Sciences de la complexité")	S-C pour Sciences de la Complexité. L'intérêt de ces disciplines, est qu'elles caractérisent des phases de conception hors du cadre déterministe classique [MOL-99], [MOR-77]. L'hypothèse de base de cette approche est certainement de considérer que la conception ne peut émerger que dans un système intégrant le concepteur-modélisateur en tant que sujet. Le système de conception intégrant cet acteur humain produit alors une activité qui se caractérise par des propriétés complexes de: - non déterminisme, qui se manifestent par des opérateurs avec plusieurs embranchements possibles, - non prévisibilité, - dépendance au contexte et aux objectifs, - donnant une place un rôle clef à la chance, au hasard, au bruit, - récursivité signifiant une activité cyclique, avec des cycles similaires tout en étant différents comme les cycles de la conception, qui tout en se répétant sont différents, car chaque itération crée des conditions nouvelles (nouvelles connaissances, nouveaux objectifs, nouveaux objets ...) pour le prochain cycle - ... Ce type d'activités apparaît notamment lorsqu'on manipule des données incomplètes, ambiguës, non fiables typiquement dans les phases de la conception, bien identifiées par I-D. L'intérêt de S-C est d'offrir des critères permettant d'identifier des activités qui résisteront à une approche automatisable par outil logiciel. Enfin, il est bien clair que la totalité des propriétés identifiées précédemment sont incongrues dans le cadre d'une épistémologie classique naïve et ne deviennent légitimes dans un cadre de type constructiviste.

Tableau IV.2 : Différentes théories de la conception rendues possible dans le cadre épistémologique constructiviste

IV.b.1 Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions de la conception

Ces nouvelles conceptions de la conception, en ayant principalement en commun d'intégrer l'acteur humain, induisent tout un ensemble de concepts qui permettent de faire une relecture de l'activité de conception.

Ceux-ci sont en très grand nombre. Je me limiterai ici à un panel que je réutiliserai afin de les mettre dans le contexte de la conception en génie électrique. On montrera ainsi en quoi elles peuvent infléchir les orientations et les perspectives de recherche que nous pouvons prendre pour continuer à développer une science de la conception dans le but d'améliorer l'efficacité de cette même conception.

Des concepts nécessitant la présence du concepteur modélisateur : l'exemple du concept de « Satisficing »

Le concept de « satisficing » et de rationalité limitée est plus particulièrement détaillé dans tableau IV.3.

Ce concept nous permet d'avoir un nouveau regard sur le processus de conception mené par le système : « concepteur/modélisateur » + « approches d'optimisation ».

Le principe de « Satisficing » consiste à postuler un principe de rationalité limité pour le concepteur, impliquant que les concepteurs ne sont jamais en mesure de garantir qu'ils trouvent objectivement la meilleure solution possible. Il ne peuvent trouver au mieux que des solutions qui les satisfont en fonction de leur perception du problème, de leur capacité à raisonner et de critères psychologiques les amenant à choisir une solution les satisfaisants au mieux avec toutes ces limites.

Ce principe et sa mise en contexte sont détaillés dans le tableau IV.3.

L'intérêt de parler de ce concept ici est :

- d'être particulièrement illustratif des nouveaux concepts trouvant leur légitimité dans l'épistémologie constructiviste,
- de pouvoir induire a terme de nouvelles orientations et de nouveaux projet pour l'étude de la conception en génie électrique. Ainsi on peut envisager des travaux montrant que l'ingénieur, même équipé d'outil de conception et de modélisation très sophistiqués, ne reste qu'un « satisficer ». En d'autres termes :
 - même si les outils de conception et de modélisation peuvent contribuer à augmenter considérablement la rationalité du concepteur/modélisateur,
 - cette rationalité ne sera jamais totale et le rôle du concepteur restera bien de trouver la solution la plus satisfaisante possible en fonction des données, méthodes, outils et de la conviction et de la confiance en la solution qu'il a réussi à se bâtir.

Définition	Illustration en conception en général et dans le génie électrique
Le concept de « satisficing » est un concept clef dans la pensée de H. Simon [SIM-69]. L'un des constats de base de Simon est que l'acteur humain en situation de conception est nécessairement limité. Limité d'abord par ses capacités cognitives, telles que sa mémoire à court terme qui ne lui permet de retenir que de l'ordre de sept entités à la fois. Limité ensuite car il doit prendre des décisions de conception dans un environnement qu'il ne connaît jamais complètement : ainsi dans un marché économique il ne connaît jamais complètement le réel état de marché, le réel état de la concurrence ... Cela amène Simon à introduire le concept de rationalité limitée [CAB-05] (« Bounded Rationality ») : ce concept introduit l'idée que le concepteur, aussi rationnel soit-il, ne peut être que dans une rationalité limitée par rapport à ce qui serait une rationalité capable de prendre les décisions en ayant accès à toutes les données, sans incertitudes, avec une vision de toutes les alternatives (cette rationalité idéale, inatteignable en pratique, étant ce que Simon appelle la rationalité substantive). Le concepteur opère ainsi plutôt avec une rationalité procédurale (par essai – erreur, par imagination de solutions les unes après les autres). D'où l'introduction du concept de satisfaction (« satisficing »), consistant à dire que du fait de leur rationalité limitée, les concepteurs ne trouvent pas des solutions qui sont objectivement (ou substantivement) les meilleures, mais des solutions qui les satisfont en fonction de leur perception du problème, de leur capacité à raisonner et de critères psychologiques les amenant à choisir une solution les satisfaisants au mieux avec toutes ces limites Ces concepts ont été clairement des concepts de rupture en économie, la faisant passer d'une vision d'un marché étudié objectivement avec des acteurs ayant une rationalité substantive, à un jeu d'acteur ayant une rationalité limitée, impliquant des choix et des décisions conditionnés par des dynamiques psychologiques de « satisficing ». Ce sont ces concepts qui ont valu à H. Simon un prix Nobel d'économie en 1978. Cette approche est un paradigme de rupture avec la théorie de la décision et de l'optimisation, qui implique que toutes les alternatives puissent être connues et qu'on sache écrire une ou plusieurs fonctions mathématiques comme objectif de satisfaction. Ainsi comme le dit Simon page 69 dans le livre intitulé « Les sciences de l'artificiel » [SIM-69] : « <i>Une des exigences de l'optimisation que ne partage pas le "satisficing" est que toutes les alternatives doivent être mesurables dans les termes d'une commune fonction d'utilité</i> » Le « satisficing » est donc un critère psychologique, introduisant des niveaux d'aspiration de l'ordre du psychologique. La pensée de Simon, considéré comme un père fondateur de la conception comme discipline, introduit ainsi l'acteur humain au centre de la conception.	Visiblement Simon pensait que ce concept s'appliquait à tous les domaines : architecture, économie, ... sauf peut-être semble-t-il en ingénierie. Ainsi W. Visser , précise page 44 dans [VIS-04], sur une analyse des travaux de Simon, que : « <i>Simon may consider design —or what he seems to consider its prototype and default value, i.e. engineering design— as no more complex than those problems whose solution processes can be covered satisfactorily in terms of search through finite (even if not small) problem spaces</i> », pouvant ainsi conforter la vision classique naïve d'une conception transposable en ingénierie dans des méthodes et outils que sont les systèmes experts (autre apport des travaux de Simon) et les outils d'optimisation. Or avec les symptômes de l'approche OSMO, et notamment de l'approche SIP, dont nous avons déjà parlé (très large échec de la mise en oeuvre pratique des systèmes experts, des limites des approches de l'optimisation, puissantes mais non autosuffisantes), l'idée s'impose de plus en plus que, les concepts de « satisficing » et de rationalité limitée, sont pertinents [VIS-04] y compris en ingénierie. S'il est en effet incontestable, que dans la pratique de l'ingénierie, le concepteur peut s'appuyer très souvent sur des données plus précises, et des modèles mathématiques et physiques plus rigoureux (car notamment plus facile à perfectionner via l'expérimentation), qu'en économie par exemple, il tombe malgré tout à un moment sur une connaissance toujours partielle du problème, ne serait-ce que parce que son activité et de plus en plus intimement liée à des contraintes économiques. Ainsi, même si on focalise sur la plus mathématique des activités de conception en ingénierie qui est le dimensionnement par optimisation, des étapes comme la construction du cahier des charges, ou la construction du modèle, comportent toujours des choix et des hypothèses avec de l'incertitude et une connaissance jamais totale et exhaustive : - des incertitudes sur des aspects physiques (incertitudes sur les caractéristiques physiques au moment de leur mesure, de leur mise en œuvre dans un nouveau dispositif), - des incertitudes sur des données économiques (données du marché, état de la concurrence par rapport à laquelle il faut se positionner, ...). - des incertitudes quant au choix de l'algorithme d'optimisation : est-il le meilleur, est-il configuré de manière optimale ? Ceci doit donner lieu à des travaux montrant que face à tout cela, il est pertinent de considérer l'ingénieur, à l'instar de l'acteur économique, comme un acteur/concepteur qui n'est jamais en mesure de garantir parfaitement et ultimement qu'il a trouvé la solution la meilleure dans le cadre d'une rationalité substantive. Il sera considéré sous le point de vue d'un « satisficer » : un concepteur/modélisateur qui trouve la solution la plus satisfaisante possible en fonction des données, méthodes, outils et de la conviction et de la confiance en la solution qu'il a réussi à se bâtir dans le cadre d'une rationalité limitée.

Tableau IV.3 : Un concept clef pour la conception intégrant le concepteur modélisateur : le concept de « satisficing » et de rationalité limitée

Des concepts permettant d'identifier les propriétés complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

Nous allons ici faire un tour d'horizon d'un certain nombre de concepts issus, en particulier des sciences de la complexité dont on montrera, la pertinence dans le cadre de la conception en génie électrique.

Ces concepts nous permettront de proposer:

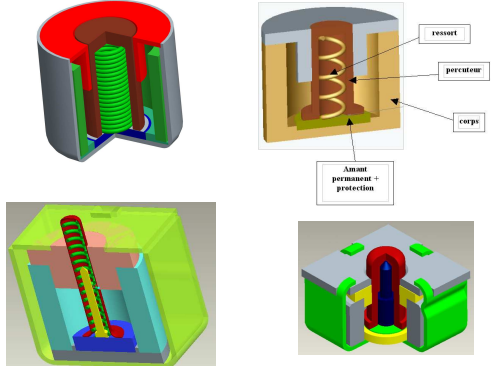
- des caractéristiques du processus de conception qui ne peuvent être portées que par les concepteurs/modélisateurs,
- une grille d'analyse aidant à distinguer ce qui est complexe, dans le sens d'être lié à la nécessaire présence des concepteurs modélisateurs, de ce qui est compliqué et qui peut se ramener à des méthodes et outils du type OSMO. L'objectif est notamment de comprendre que complexe, signifie et implique, comme l'indique J.L. Lemoigne page 9 de [LEM-99a], un caractère « *irréductible à un modèle unique et complètement calculable* ».

Ainsi, les concepts passés en revue et mis dans le contexte de la conception dans le tableau IV.2 sont :

- le concept de « Système Complexe »
- le concept de « Non Déterminisme »
- le concept d' « Incertitude »
- le concept de « Bruit »
- le concept de « Dialogique » : la Complexité se traduit notamment par la présence de propriétés complémentaires/contradictaires, dont l'une ne peut être réduite au profit de l'autre. Il s'agit alors de trouver un équilibre dans la gestion de ces propriétés, ce en quoi consiste justement la dialogique. Nous mettrons notamment en avant :
 - La dialogique entre approche réductionniste et approche macroscopique (ou holistique)
 - La dialogique entre ouverture et fermeture des systèmes
 - La dialogique entre phases illogiques et phases logiques
 - La Dialogique entre simplification et complexification
- Le concept de « stratégie »
- Le concept de « récursion »

Intitulé du concept complexe	Définition	Mise en contexte de la conception en ingénierie en général et dans le génie électrique en particulier – Mise en évidence des dimensions complexes de l'activité de conception
Le concept de Système Complexe	La notion de système complexe est une notion qui commence à s'imposer, y compris en physique [BIT-07], promue par des prix Nobel de physique comme R. Laughlin, et qui consiste à étudier les systèmes en faisant l'hypothèse que les lois et phénomènes qu'on observe à certain niveau d'étude, peuvent ne pas se déduire de l'étude du comportement des sous-systèmes constituant ce système : on est en plein dans le principe de modélisation systémique. Cela implique un principe d'émergence, faisant que des lois, des phénomènes émergent à un certain niveau, sans que cette émergence ne puisse être étudiée et prévue par l'étude des sous parties prises isolément, notamment parce-que cette émergence résulte non des propriétés des parties prises isolément, mais des propriétés de leurs interactions. Ceci implique que <u>le système peut tout à la fois être</u> : - <u>plus que la somme des parties,</u> - <u>moins que la somme des parties</u> Comme nous l'illustrons ci-contre, cette dimension « Système Complexe » peut émerger: - dans le comportement des objets et des systèmes - dans les méthodes (de conception, de simulation, ...) - dans les systèmes de conception intégrant le ou les concepteur(s)/ modélisateur(s) En fait c'est cette dimension de « Système Complexe » sur laquelle le principe de l'analyse réductionniste d'une approche classique (voir tableau III.1) est inopérant à appeler à définir le principe de modélisation systémique proposé dans le tableau IV. 1.	<u>Les des objets et dispositifs dans leur dimension de Système Complexe :</u> Ainsi on peut illustrer que pour les systèmes du génie électrique, <u>le système est moins que la somme des parties</u>. Ainsi un composant, comme une diode, un IGBT, une tôle magnétique peut avoir un large spectre de fonctionnement. Le fait d'être inséré dans un système, fera qu'une partie seulement du spectre de fonctionnement du composant sera exploité dans ce système. Cette réaction limitative du système sur le composant peut-être plus profonde et plus difficilement quantifiable qu'une simple limitation de parcours dans les zones de fonctionnement possibles. Le système peut aller jusqu'à dégrader le fonctionnement des composants, avec des effets à priori difficilement quantifiables et évaluables. J'en reviens, pour illustrer cela à l'effet des déformations, de l'histoire du système dans le processus de fabrication, qui vont altérer les caractéristiques des matériaux et des composants avec des effets qui sont difficiles voir impossibles à appréhender A priori, hors du système. <u>Les méthodes de conception dans leur dimension Complexe :</u> Au niveau des méthodes de conception Un exemple éloquent est celui du dimensionnement par optimisation, dans lequel l'optimum global n'est pas l'optimum de la somme des parties prises isolément. Ainsi, nous avons obtenu avec le logiciel d'optimisation de type PASCOSMA, des structures de moteurs avec des dimensions innovantes chez un industriel partenaire, simplement parce-que nous avons optimisé simultanément les tôles magnétiques et le bobinage. Le système a alors trouvé une solution originale, qui d'un point de vue coût était plus intéressante, que la solution habituelle résultant d'un premier dimensionnement optimal des tôles, puis d'un dimensionnement par suite des bobines. <u>Le système de conception « objet à concevoir » + « concepteur-modélisateur » dans sa dimension complexe :</u> Appliqué au cas de la conception, cela signifie que l'activité de conception, dans toutes ces dimensions n'émerge qu'avec un « Système de conception » intégrant un ou plusieurs concepteurs, ceci en raison des propriétés complexes que nous allons détailler par la suite. Dans cette approche, il est supposé qu'il est impossible de réduire la conception à des entités élémentaires comme des règles, des méthodes, des outils, ...

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

Le concept de « Non Déterminisme »	L'une des caractéristiques principales des processus de conception, qui émerge dès lors qu'on observe un « Système de conception » intégrant un ou plusieurs acteurs, est que les mêmes conditions ne produisent pas nécessairement les mêmes solutions. On n'est pas du tout dans la vision classique consistant à dire que les mêmes causes doivent produire les mêmes effets, et c'est pourquoi cette propriété de la conception peut échapper voire être complètement niée par une étude de la conception dans un cadre classique naïf. Or ce non déterminisme des processus de conception, que l'approche complexe permet de considérer et de légitimer, est bel et bien observé en situation notamment par les études qui se font dans le cadre de l'approche COG. Ainsi on trouvera dans [VIS-04], une citation des travaux de Schön page 65 : <i>"As noticed by Schön ..., " different designers construe the task they are asked to perform in very different ways, and their different readings of the task lead them to very different global patterns of designing"</i> On trouvera dans la même référence (voir notamment autour des pages 69 et du paragraphe 4.6.6 intitulé <i>"Several satisfactory, rather than unique, correct solutions"</i>), des références à des papiers issus du domaine de la mécanique ou de l'architecture mettant en évidence ce caractère non déterministe de la conception.	Illustration dans les activités de conception du génie électrique: Le génie électrique n'échappe pas au non déterminisme. Nous l'avons mis en évidence lorsque nous avons mené des expériences dans lesquelles nous avons observé différents groupes de concepteurs étudiant face à un même cahier des charges, comme cela est décrit dans [WFC-53]. Chaque groupe a bien évidemment mené son propre processus de conception, et bien que le cahier fût le même pour tous, chaque groupe a produit sa propre solution. La figure suivante donne un échantillon des structures trouvées par 4 groupes différents.  Fig. IV.2 Différentes solutions proposées dans [WFC-53] face à un même cahier des charges d'actionneur linéaire La référence [MAC-03] permet d'observer des choses similaires avec des concepteurs plus experts : sont présentées les solutions qu'ont imaginé différents laboratoires face à un même cahier des charges de machines tournantes à fort couple et faible vitesse, dont des applications typiques sont des moteurs de traction automobile. Ces solutions sont toutes différentes, révélant la diversité des structures et des processus de conception possibles face à un même « cahier des charges ».
---	--	--

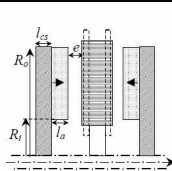
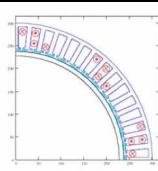
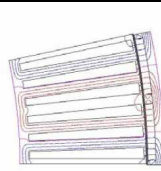
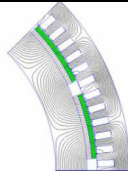
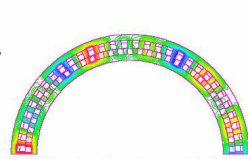
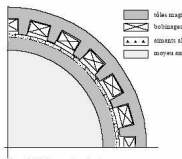
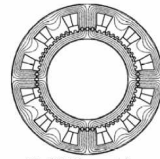
		  <table><thead><tr><th></th><th>MSAP, rotor intérieur</th><th>MSAP, rotor extérieur</th><th>MSAP bobinage fractionnaire</th><th>MSAP à flux axial</th><th>MRV non excitée</th><th>MRV excitée par des AP au rotor</th><th>MRV excitée par des courants triphasés au rotor</th></tr></thead><tbody><tr><td>Puissance</td><td>10.45 kW</td><td>10 kW</td><td>10 kW</td><td>10 kW</td><td>10 kW</td><td>10 kW</td><td>10 kW</td></tr><tr><td>Pertes Joule</td><td>872 W</td><td>1700 W</td><td>2407 W</td><td>2164 W</td><td>550 W</td><td>815 W</td><td>850 W</td></tr><tr><td>Rendement</td><td>90.84%</td><td>84.6 %</td><td>80.6%</td><td>78%</td><td>95 %</td><td>90%</td><td>85%</td></tr><tr><td>Couple massique</td><td>6.8 Nm/kg</td><td>13 Nm/kg</td><td>14.8Nm/kg</td><td>14 Nm/kg</td><td>4.6 Nm/Kg</td><td>22.4 Nm/kg</td><td>7.36 Nm/kg</td></tr></tbody></table> Tableau récapitulatif de performances significatives Dans le cas des travaux du Groupement de Recherche 'Maîtrise de l'Énergie Electrique, du Matériau au Système' (GDR ME2MS), l'opération 'Conception et dimensionnement de machines électriques' (CDME) du thème 'Conception' s'est penchée sur une étude comparative des performances de diverses structures pouvant assurer un fonctionnement à faible vitesse et fort couple. A partir d'un cahier de charges commun, des machines synchrones à aimants permanents (AP) en surface, une machine à AP à flux axial et des structures à réluctance variable excitée ou non ont été dimensionnées par des approches différentes et étudiées en utilisant des modèles analytiques et/ou numériques – MSAP = Machine Synchrone à aimants Permanents, MRV = Moteur à Réluctance Variable, MR = Moteur à Réluctance) Fig. IV.3 Différentes solutions proposées dans [MAC-03] face à un même cahier des charges de moteur fort couple et basse vitesse		MSAP, rotor intérieur	MSAP, rotor extérieur	MSAP bobinage fractionnaire	MSAP à flux axial	MRV non excitée	MRV excitée par des AP au rotor	MRV excitée par des courants triphasés au rotor	Puissance	10.45 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	Pertes Joule	872 W	1700 W	2407 W	2164 W	550 W	815 W	850 W	Rendement	90.84%	84.6 %	80.6%	78%	95 %	90%	85%	Couple massique	6.8 Nm/kg	13 Nm/kg	14.8Nm/kg	14 Nm/kg	4.6 Nm/Kg	22.4 Nm/kg	7.36 Nm/kg
	MSAP, rotor intérieur	MSAP, rotor extérieur	MSAP bobinage fractionnaire	MSAP à flux axial	MRV non excitée	MRV excitée par des AP au rotor	MRV excitée par des courants triphasés au rotor																																			
Puissance	10.45 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW	10 kW																																			
Pertes Joule	872 W	1700 W	2407 W	2164 W	550 W	815 W	850 W																																			
Rendement	90.84%	84.6 %	80.6%	78%	95 %	90%	85%																																			
Couple massique	6.8 Nm/kg	13 Nm/kg	14.8Nm/kg	14 Nm/kg	4.6 Nm/Kg	22.4 Nm/kg	7.36 Nm/kg																																			
Le concept d'«Incertitude»	L'incertitude peut-être vue comme une source et une manifestation de complexité. Cette incertitude induit en effet des choix, des prises de risques, d'où notamment la propriété de non déterminisme mise en évidence précédemment. Dans la vision classique naïve, le déterminisme est une hypothèse de base, et il en résulte que l'incertitude doit	Hatchuel résume ainsi page 139 dans [HAT-92] l'incertitude auquel le concepteur en ingénierie est soumis dans son activité : <i>"Le savoir du concepteur est aujourd'hui plus que jamais assimilable à un pari parce-qu'il doit d'abord faire face à des risques techniques ou commerciaux qui, mêmes calculés, sont souvent irréductibles. Mais il est aussi un pari parce qu'il n'est pas possible au concepteur de dire à</i>																																								

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

	nécessairement être réduite et annihilée. La vision complexe, cohérente avec le cadre constructiviste, renonce à cette perspective de réduction complète de l'incertitude, d'abord en prenant acte que c'est un objectif impossible à atteindre pour les raisons suivantes : -L'incertitude est par principe inaliénable, en commençant par la discipline de base qu'est la physique, puisque celle-ci poussée dans ses derniers retranchements ne tombe-t-elle pas sur le principe d'incertitude au niveau microscopique avec la physique quantique et sur le chaos au niveau macroscopique ? (chaos auquel peuvent être soumis certains dispositifs du génie électrique [ROB-00], [ALI-03]) - Pour ces raisons, entre d'autres, l'incertitude fait donc partie de la nature de la connaissance comme le résume E. Morin dans « la vie de la vie » page 223 [MOR-77]: "<i>L'incertitude dans la connaissance de la nature est aussi dans la nature de la connaissance</i>", où le même auteur parlera page 379 d'"<i>une incertitude de principe</i>". [ZWI-00] identifie aussi un certain nombre de limites de principe, dont fait partie le principe d'incertitude de la physique quantique, le chaos déterministe, les limites des systèmes formels mathématiques soumis aux limites de Gödel [GOD-89], ..., menant à une incertitude de principe dans la connaissance du monde physique. -Au delà de ces limites de principe, existent des limites pratiques comme les incertitudes dans les mesures, - Au delà encore de ces limites plutôt liées à la connaissance et aux savoirs physiques, et donc aux activités de modélisation de la catégorie B, existent des incertitudes relatives au processus de conception. Là encore des limites de principes existent dues à nouveau aux limites du formalisme résultant du théorème par Gödel [ZWI-00]. On peut argumenter qu'il en résulte que les processus de conception, et de raisonnement ne sont pas, par principe, complètement formalisables dans les systèmes formels, et resteront donc toujours en partie incertains. Ainsi [PEN-97] développe un argumentaire de ce type pour en déduire l'impossibilité de créer une intelligence artificielle via des systèmes formels. L'hypothèse d'une part de connaissance	<i>l'avance tous les problèmes et toutes les adaptations qu'auront à conduire sur le terrain les acteurs directs de la production ou de l'exploitation"</i>
--	---	--

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

	tacite irréductible, impose aussi une incertitude de principe, et interdit une explication complète et certaine du processus. Cette incertitude touche donc autant les objets de connaissance (systèmes formels, modèles, ...), que les connaissances portées par les acteurs humains. Dans une vision complexe, on prend donc acte du caractère inaliénable de l'incertitude (la seule certitude est l'incertitude !) et l'on va même jusqu'à intégrer son caractère potentiellement utile. Ce caractère utile se révèle dans le non déterminisme qu'elle induit, et qui se manifeste notamment par la diversité des solutions et alternatives possibles, comme nous avons pu le voir dans le paragraphe précédent. L'incertitude est ainsi condition de diversité et par suite, condition d'innovation..	
Le concept de « Bruit »	L'incertitude induit aussi l'erreur, et le bruit. Dans la vision classique l'erreur est à proscrire. Dans la vision complexe, une vision plus nuancée de l'erreur est gérée. Ainsi E. Morin, dans « la vie de la vie » introduit autour des pages 326 le « <i>concept d'optimisation complexe</i> » intégrant le bruit. Elle prend aussi acte d'une liaison entre erreur et apprentissage (Voir « la vie de la vie page » 368), ou « la connaissance de la connaissance » page 179 qui introduit une liaison entre erreur et intelligence que « <i>l'art de l'intelligence utilise et apprend de l'erreur</i> ». L'erreur et le bruit permettent donc l'essai-erreur qui permet l'apprentissage pour les concepteurs	<u>Illustration dans les activités de conception du génie électrique:</u> Le bruit est couramment utilisé y compris dans les outils formels d'optimisation. On peut citer à titre d'exemple tous les outils de dimensionnement utilisant des algorithmes génétiques, utilisés notamment pour faire de l'optimisation en génie électrique ([GOL-94], [ULE-94], [VAS-94], [RIC-95], [KOZ-96], [WFR-3], [REG-03]). Ces algorithmes modifient la population de solution en les faisant muter aléatoirement selon un certain taux appelé taux de mutation [GOL-94]. On introduit ainsi une part de bruit et d'incertitude (puisque ces algorithmes de fait ne sont plus déterministes), réglé par un taux dont la valeur est en pratique réglé par le concepteur qui fait de l'optimisation.
Le concept de « Dialogique »	E. Morin, page 98 du tome 3 de la méthode « La connaissance de la connaissance » [MOR-77], introduit le principe dialogique⁹: « ... comme l'association complexe (complémentaire/concurrente/antagoniste) d'instances nécessaires ensembles à l'existence au fonctionnement et au développement d'un phénomène organisé » La complexité résulte d'un dialogue entre deux positions logiques contradictoires. Alors que dans le cadre	

⁹ : on trouvera une évocation du principe de dialogique dans les parties suivantes de [MOR-77] :

- tome 2, page 372 à 373 qui développe le concept de dialogique en biologie, ou page 382 du même ouvrage où l'auteur s'intéresse « Aux frontières de la contradiction »,
- tome 3, page 182 qui développe l'aspect dialogique de la pensée

	classique, on cherche à réduire et à annihiler les contradictions, le principe de dialogique reconnaît et légitime la contradiction. Il introduit la contradiction comme un caractère complexe incontournable à gérer par les concepteurs. Comme le dit E. Morin dans le tome 1 page 379 : « <i>Le problème de pensée complexe est dès lors de penser ensemble, sans incohérence, deux idées pourtant contraires</i> ». Nous allons montrer ici que ce principe de dialogique semble particulièrement pertinent et au cœur des processus de conception en général et en Génie Electrique en particulier :	
	- La dialogique entre approche réductionniste et approche macroscopique (ou holistique) : La première permet de se ramener aux phénomènes fondamentaux hors contexte mais peut perdre de vue des effets systèmes dépendant du contexte, empêchant de rendre compte des phénomènes complexes émergeant au niveau système. La seconde peut prendre en compte une compréhension globale mais peut perdre de vue la compréhension fine des détails locaux	<u>Illustration dans les activités de conception du génie électrique:</u> Pour les systèmes du génie électrique, sont liées à cette dialogique : - les questions de niveau de modélisation, et de multi-niveaux de modélisation : va-t-on aborder la modélisation avec un modèle analytique sommaire (approche macroscopique), ou plus précis avec un modèle numérique (approché réductionniste) ? - les problématiques de découpages multi-physiques comme la question de savoir s'il convient de faire un couplage fort, ou couplage faible, entre électromagnétisme - thermique - mécanique. Toutes ces questions vont servir à trouver l'équilibre entre approche réductionniste et holistique qui est à décider par les concepteurs en fonction du contexte et des objectifs. - les questions de lois de correction macroscopiques qui interviennent tôt ou tard dans nos modèles et outils de CAO. En effet, même si ceux-ci partent d'un niveau réductionniste (de composants, de lois, de caractéristiques d'un niveau inférieur que le niveau macroscopique du système, ...), il faut souvent introduire des coefficients de corrections macroscopiques. Le tout est de ne pas faire cette correction macroscopique trop tôt, sinon le modèle manquera de robustesse car lié macroscopiquement à un contexte trop restreint, ni trop tard ce qui peut signifier qu'on est allé trop loin dans l'analyse réductionniste, amenant à des niveaux de détails pour lesquels on a peu d'information précise, et par suite peu de chance de retrouver un fonctionnement réel du système. Un exemple typique est le cas des phénomènes thermiques, où des découpages fins peuvent s'avérer inutiles en vue d'avoir une précision quantitative élevée, par manque d'informations sur les caractéristiques thermiques locales. Là encore, cette question de savoir quant est ce que le bon compromis est un

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

		art qui n'admet pas de réponse absolue: il dépend du contexte et doit être l'objet de l'intelligence du concepteur/modélisateur.
	- Dialogique entre ouverture et fermeture des systèmes : Si la dialogique précédente permet par boucles successives de construire le modèle interne du système/objet, la dialogique ouverture/fermeture va permettre d'en définir les limites et les contours.	<u>Illustration dans les activités de conception du génie électrique:</u> Ainsi on peut illustrer que pour les systèmes du génie électrique, le découpage systémique va en effet dépendre du contexte industriel, du projet et des objectifs: dans un cas ce sera l'actionneur, dans l'autre cas l'ensemble commande – électronique – actionneur, et le concept de système pourra aller très loin lorsqu'on fait de l'éco-conception. S'il s'agit de mettre en place un système de conception/modélisation, va-t-on intégrer ou pas les acteurs ? Comme cela est souligné dans la littérature de la complexité, ces découpages peuvent dépendre de facteurs sociaux et culturels qui dans le domaine du génie électrique sont la « culture de l'entreprise ».
	- Dialogique entre phases illogiques et phases logiques : La conception, est un processus nécessitant de boucler entre des logiques différentes, parfois en complète contradiction. L'exemple paroxysmique est la dialogique entre illogisme et logique.	<u>Illustration dans les activités de conception du génie électrique:</u> Ainsi l'invention de la première liaison intercontinentale par radio peut-elle être présentée comme une dialogique relevant de ce type : lorsque Marconi installe son premier système d'émetteur – récepteur entre l'Europe et les états, sa démarche peut être considérée comme illogique, en contradiction avec les connaissances de l'époque affirmant que les ondes électromagnétiques se déplacent en ligne droite, techniquement cela ne peut pas fonctionner. Puis vient la logique de l'explication rationnelle qui explique que cela fonctionne malgré tout avec son lot de nouveaux faits et de nouvelles théories scientifiques : l'ionosphère, la théorie de la propagation des ondes radioélectriques dans un milieu ionisé (voir [CER-06]). Il s'agit donc d'une dialogique entre irrationalité ET rationalité dont cet exemple nous montre la nécessité. La nature de la conception semble donc bien relever d'une logique de dialogique entre irrationalité et rationalité, au moins pour les phases d'innovation radicale. C'est la possibilité d'articulation entre des logiques aussi différentes dont rend compte la théorie C-K, autorisant l'articulation entre tout type de logique dans le processus de conception, notamment grâce à l'espace C qui est un espace contenant des concepts sans statut logique, grâce à l'espace K qui peut être instrumenté par toutes les formes de logiques possibles, ...
	- Dialogique entre simplification et complexification : Ce principe de dialogique est expliqué dans le tome 3 de la méthode [MOR-77], page 63-64 dans la rubrique des "stratégies cognitives". Selon les dires de l'auteur il s'agit d'une part de simplifier pour : «<i>sélectionner ce qui présente de l'intérêt pour le connaissant et éliminer tout ce qui est</i>	<u>Illustration dans les activités de conception du génie électrique:</u> On peut remettre cela dans le contexte de la modélisation pour l'optimisation: un modèle doit être suffisamment simple pour ne prendre en compte que les phénomènes utiles dans les objectifs de l'optimisation, mais aussi être suffisamment riche pour modéliser des interactions systèmes pouvant mener à de l'innovation formelle, à l'émergence de compromis éventuellement

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

	<i>étranger à ses finalités</i>». Il s'agit d'autre part de complexifier pour : «<i>chercher à tenir compte du maximum de données et d'informations concrètes</i>».	inattendu dans la perception des phénomènes que possède le modélisateur.
	En bref, c'est en grande partie la capacité à gérer toutes ces dialogiques qui fait de la conception un art, nécessitant dans le domaine de l'ingénierie des hommes de l'art, donc des acteurs humains, aptes à une dialogique pertinente. (cf. Page 187 de la méthode, tome 3 [MOR-77]: «<i>c'est la présence de la dialogique qui en fait un art, de même fera de la conception un art, appelant la mise en œuvre de stratégies toujours nouvelles</i> »)	
Le concept de « Stratégie »	"La stratégie suppose l'aptitude à entreprendre une action dans l'incertitude et à intégrer l'incertitude dans la conduite de l'action", E. Morin, dans « la vie de la vie » page 225 [MOR-77], positionne ainsi relativement les notions de programme et de stratégie dans les pages 225 à 228. Ce positionnement est ré-étudié dans « la connaissance de la connaissance », page 61 [MOR-77]: "Le programme est constitué par une séquence pré-établie d'actions s'enchaînant les unes les autres et se déclenchant sur un signe ou signal donné. La stratégie se construit au cours de l'action, en modifiant, selon le surgissement des événements ou la réception des informations, la conduite de l'action envisagée. La stratégie suppose donc: a) l'aptitude à entreprendre ou à chercher dans l'incertitude en tenant compte de cette incertitude; b) l'aptitude à modifier le développement de l'action en fonction de l'aléa et du nouveau. La stratégie suppose l'aptitude du sujet à utiliser, pour l'action, les déterminismes et aléas extérieurs, et on peut la définir comme la méthode d'action propre à un sujet en situation de jeu (au sens neumannien du terme) où, pour accomplir ses fins, il s'efforce de subir au minimum et d'utiliser au maximum les contraintes, les incertitudes et les hasards de ce jeu. Le programme est prédéterminé dans ses opérations, et dans ce sens il est "automatique"; la stratégie est prédéterminée dans ses finalités, mais non dans toutes ses opérations; en fait, il est utile à la stratégie de disposer de très nombreux automatismes (séquences programmées)."	<u>Illustration dans les activités de conception du génie électrique:</u> Ainsi pour gérer la dialogique approche réductionniste et approche macroscopiques pour modéliser un système, [HOF-04] identifie un ensemble de stratégies: - selon la structure (donc la forme) - selon le comportement (les fonctions qu'il réalise) - selon les buts (les propriétés qu'on désire voir émerger du système) C'est de l'enchaînement des dialogiques et des stratégies que résultent les propriétés de : - non déterminismes dans la décomposition système, résultant du fait que deux concepteurs peuvent aboutir, en fonction de leurs connaissances, compétences et perception à des découpages différents, comme cela est indiqué dans [HOF-04] : « ... these strategies ..., in general they yield different compositions, and different persons using the same strategy will often obtain different decomposition » - de récursivité, il faut souvent qu'un concepteur tente plusieurs découpages système avant d'en trouver un qui soit cohérent avec son contexte et ses objectifs, sachant qu'à chaque itération il augmente récursivement ses connaissances et ses compétences tout comme il augmente récursivement le contenu du savoir que constitue le découpage formel de son système. De même dans [WFR-22], j'identifie pour la conception deux types de stratégies : 1° Les stratégies rationnelles - Elles sont mobilisées lorsque le but est la mise en œuvre de ressources formelles telles qu'une méthode d'optimisation pour

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

	En bref, la mise en œuvre des stratégies, à l'opposé du programme prédéfini et câblé, nécessite la présence du concepteur modélisateur qui doit continuellement s'adapter aux circonstances que va faire émerger le fait d'aller vers l'objectif de la stratégie. Le rôle des stratégies est notamment d'offrir des directions d'actions au concepteur/modélisateur pour gérer les dialogiques complexes.	dimensionner ou une approche de modélisation comme une méthode de modélisation numérique par réseaux de réluctance [ALB-04], [DUP-06]. Il s'agit bien de stratégies, car même si le but est clair (dimensionner ou optimiser avec une approche logicielle donnée), la mise en œuvre nécessite une mise en forme du problème avec des hypothèses et des choix, discutables, et non uniques à trancher en fonction du contexte et des objectifs par des acteurs humains, dans un cadre ambiguë, mal posé ou des choses sont incertaines non figées, ouvertes, ... Par ailleurs les choix faits vont générer de nouveaux contextes et de nouveaux objectifs (cf. la formulation des contraintes et des objectifs qui évoluent au fur et à mesure qu'on fait de l'optimisation [DEL-05]). - Ces stratégies rationnelles sont donc les activités permettant de transformer un problème complexe et mal posé en un, ou en suite de, problème(s) compliqué(s), solvables par logiciel dans le cadre de SIP. Cette activité présente en elle-même les attributs de la complexité identifiés par S-C. 2° Les stratégies heuristiques, empiriques et opportunistes - Elles sont mises en œuvre par des acteurs humains par souci d'aller rapidement et économiquement (d'un point de vue cognitif [DAR-04], [VIS-04]) vers une solution, tout en pouvant se montrer extrêmement efficace, lorsqu'elles sont notamment mises en œuvre par un expert. Des exemples typiques sont le raisonnement par analogie, par intuition, ... - Ces stratégies sont bien identifiées par l'approche COG de la conception : elles sont adaptées au fonctionnement cognitif des acteurs humains, en permettant de proposer des solutions compatibles avec leurs propriétés cognitives et leur permettent de produire des solutions avec un effort minimal.
Le concept de « Récursion »	Les sciences de la complexité introduisent le concept de récursion et de récursivité. Ainsi on peut trouver une description de ce principe récursif dans [MOR-77], particulièrement dans le tome 3 page 100, 101 dans un paragraphe intitulé « <i>Le principe récursif</i> » ou le principe de récursion est défini ainsi : « <i>Les effets rétro-agissent sur les causes</i> », « <i>c'est un processus où les effets ou produits sont en même temps causateurs et producteurs dans le processus lui-même ...</i> » <i>Ainsi le processus récursif est un processus qui se</i>	<u>Illustration dans les activités de conception:</u> Le principe, ou propriété de récursion, semble tout a fait adapté pour décrire les aspects suivants de la conception : - La conception est effectivement une boucle récursive et régénérative où à chaque cycle on apprend, on affine, sans jamais refaire la même chose et sans jamais atteindre une fin substantivement justifiée. Il faut donc abandonner l'idée de processus hypothético-déductif sans récursion. - L'action récursive des effets sur les causes se manifeste quant on étudie l'évolution du cahier des charges ou des modèles. Chaque cycle

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

	<i>produit/reproduit lui-même, à condition évidemment d'être alimenté par une source, une réserve ou un flux extérieur. ... elle est bien plus qu'une notion cybernétique qui désigne une rétro-action régulatrice ...»</i> On trouvera d'autres endroits où ce concept de récursivité est développé dans [MOR-77], ou page 184 du tome 1 où se re-positionne relativement les concepts de rétroaction et de récursion La récursion est donc définie par rapport à la rétroaction, qui est un principe bien connu en ingénierie. La rétroaction a pour propriété de garder la constance de la forme régulée. La récursion modifie à chaque cycle la forme. Elle « <i>signifie logiquement production-de-soi et re-génération</i> ». En conception, on peut encore définir ce principe de récursivité par rapport au principe d'itération. A la différence de l'itération, la récursion implique une modification irréversible des processus formels ou des acteurs humains dans leur forme et dans leur constitution profonde. Cela va donc plus loin que d'incrémenter un compteur. Une règle, une contrainte, une hypothèse, ... a été ajoutée, produite au niveau des méthodes et outils formels ; l'acteur humain a appris quelque chose de plus, augmentant ainsi ses connaissances et ses compétences.	de conception, amène à ré-affiner ces objets de connaissance. La récursivité est donc en lien avec ce que l'approche I-D veut nous dire de la conception : un processus où le problème, avec sa manifestation formelle qu'est le cahier des charges, et la solution, avec sa manifestation formelle qui est le modèle, sont construits dynamiquement par des boucles récursives. - La récursivité se manifeste aussi sur les connaissances non formelles et tacites. Nous parlons là ni plus ni moins que de l'apprentissage lié aux acteurs humains lorsqu'il se traduit par une augmentation des connaissances tacites. La récursion est alors la montée en expérience et compétences capitalisées par les concepteurs. Dans ce cas la récursivité caractérise ce qui se passe pour les concepteurs support des connaissances et les outils support des objets de connaissance..
--	--	--

Tableau IV.3 : Des concepts permettant d'identifier des dimensions complexes de l'activité de conception en présence des concepteurs

Des concepts permettant de caractériser des activités complexes et compliquées en conception

Grâce aux sciences de la complexité, nous pouvons créer une typologie d'activités compliquées et complexes. Cette typologie est créée dans le but d'avoir un outil, pour la question fondamentale de la rationalisation et de l'automatisation de la conception, et du positionnement relatif du concepteur.

Les activités compliquées

Commençons donc par caractériser ce qu'est le compliqué dans cette approche. Le compliqué peut s'appréhender par le principe d'analyse réductionniste. Le compliqué pourra se traiter par des systèmes formels finis (des logiciels implantables dans des ordinateurs). Si le comportement du système peut se retrouver par simple juxtaposition du comportement des parties, même avec un grand nombre de composants et de paramètres, en appliquant le principe d'analyse réductionniste, il s'agit d'un système compliqué, mais non complexe.

Sera donc compliqué, ce qui est décomposable, automatisable et au bout du compte traitable par un ordinateur.

Le compliqué peut résulter de l'agencement en grand nombre de composants simples, intelligibles,..., impliquant dans le cadre de l'optimisation, beaucoup d'équations, de paramètres, de contraintes, ...

Le compliqué pourra ainsi se mesurer, lorsqu'il s'agit d'un objet de savoir formalisé comme un modèle mathématique physique, par :

- la dimension du modèle,
- le nombre d'équations implicites contenues dans ce modèle,
- la capacité à inverser le modèle symboliquement.

Un critère de caractérisation de ce qu'est le compliqué est que l'ordinateur est capable de le traiter. L'ordinateur traitera d'ailleurs ce qui est compliqué de manière très efficace, et le plus souvent de manière plus efficace que l'acteur humain. On y manipule des informations claires (cf. des symboles, des variables des chiffres, y compris des chiffres tolérancés, qui, s'ils modélisent une incertitude, constituent en eux même une information claire ...), éventuellement en grand nombre, mais qu'on peut traiter avec des algorithmes, des règles. En génie électrique, il s'agit de résolutions de problèmes d'analyse, de dimensionnement par optimisation (dès lors que ceux-ci sont bien posés).

Les activités complexes

Ce type comprend les activités irréductibles à une informatisation complète et donc irréductibles à une automatisation sans présence d'un acteur humain. Ceci résulte des propriétés complexes de ces activités caractérisées par l'approche S-C (dont les principales sont listées dans la tableau IV.3), mais aussi d'aspects mis en évidence par les approches I-D, COG, C-K:

- On y manipule des données incomplètes, ambiguës, non fiables (penser par exemple aux caractéristiques des matériaux non complètement connues).
- Ces activités ont des propriétés de non déterminisme, de multiples embranchements possibles, ... Elles impliquent donc des choix discutables et une prise de risques. Typiquement il peut s'agir de l'activité du choix des hypothèses d'un modèle, des choix de degrés de libertés qu'on fige dans la phase de formulation du problème de conception identifiée par I-D, ...
- Ces choix s'opèrent par des processus de dialogique, faisant argumenter et s'opposer de façon constructive des points de vue opposés donc des activités de dialogique : analyse macroscopique/réductionniste et dialogique réduction/ouverture

- Les choix et la progression ne s'opèrent pas uniquement par des programmes et des méthodes pré-définies, mais aussi par des stratégies menées par les concepteurs, qui peuvent être claires dans leurs objectifs, mais nécessitent une adaptation continue et dynamique en fonction des aléas, faits nouveaux mis en œuvre par la fait de progresser.
- Ces activités se caractérisent par des processus de formalisation et d'apprentissage récursifs, car en effet à chaque itération le savoir, le savoir-faire les connaissances sont modifiés...
- Ces activités peuvent utiliser des logiques fort différentes, comme l'identifie C-K, dont notamment des logiques non computables permettant d'explorer des espaces de concepts inédits.
- ...

En bref, les activités Complexes nécessitent la présence d'un acteur humain qui fait ainsi partie du Système de conception, et qui gère le processus de conception :

- en fonction du contexte, du phénomène à considérer et des objectifs (hypothèses téléologiques et phénoménologiques, cf. tableau III.1),
- qui utilise sa perception du problème via ces connaissances et ces compétences (principe de modélisation systémique, cf. tableau III.1)
- qui doit à chaque étape argumenter ces résultats (principe d'action intelligente, cf. tableau III.1)
- qui évalue ces choix et action par leur effectivité à atteindre les objectifs de la conception (critère d'effectivité, cf. tableau III.1).

Ces activités complexes mobilisent donc un certain nombre de ressources mobilisables uniquement par les concepteurs/modélisateurs, comme :

- le savoir-faire à mettre en œuvre des stratégies. Nous classifions d'ailleurs ces stratégies dans le tableau IV.4° en deux catégories :
 - **Les stratégies rationnelles** : Mobilisées lorsque le but est la mise en œuvre de systèmes formels (cf. une méthode d'optimisation).
 - **Les stratégies heuristiques, empiriques et opportunistes** : Mobilisant des ressources comme la maturation, le raisonnement par analogie, par intuition, ... (cf. approche COG).
- la capacité à donner du sens à la chance et au hors rationnel

Cette vision est synthétisée dans le tableau IV.4°. On y propose plus particulièrement la matrice ressources-activités qui permet de retrouver quelles sont les ressources idéalement mobilisables pour les activités complexes d'une part et compliquées d'autre part. Ce tableau synthétise que :

- les activités complexes mobilisent des ressources qui ne peuvent être portées que par l'acteur humain
- les activités compliquées mobilisent la ressource que constituent les logiciels (les systèmes formels) implantés dans des ordinateurs.

Typologie des activités	Type c : les activités compliquées : Ce type comprend les activités qu'on peut automatiser par logiciel. On y manipule des informations claires (cf. des symboles, des variables des chiffres, y compris des chiffres tolérancés, qui s'ils modélisent une incertitude, constituent en eux même une information claire ...), éventuellement en grand nombre, mais qu'on peut traiter avec des algorithmes, des règles. En génie électrique, il s'agit de résolutions de problèmes d'analyse, de dimensionnement par optimisation (dès lors que ceux-ci sont bien posés).			Type C : Les activités complexes : Ce type comprend les activités irréductibles à une informatisation complète et donc une automatisation sans présence d'un acteur humain. Ceci résulte des propriétés, complexes, de ces activités caractérisées par l'approche S-C: on y manipule des données incomplètes, ambiguës, non fiables (penser par exemple aux caractéristiques des matériaux non complètement connues). Ces activités ont des propriétés de non déterminisme, de multiples embranchements possibles, ... Elles impliquent donc des choix discutables et une prise de risques.																										
Typologie des ressources	Type 1°: Les systèmes formels finis : Ces ressources sont typiquement les méthodes/algorithmes, ... automatisables dans des ordinateurs (i.e. le logiciel).	Type 2 : Les stratégies 2° a Les stratégies rationnelles : Mobilisées lorsque le but est la mise en œuvre de systèmes formels (cf. une méthode d'optimisation)			2° b : Les stratégies heuristiques, empiriques et opportunistes : raisonnement par analogie, par intuition, ... (cf. approche COG)																									
La matrice ressources/activités	On peut synthétiser la modélisation qu'on propose par ci-contre. Dans c-1°: on trouve les activités menées par des logiciels accomplissant les activités compliquées en utilisant la ressource des systèmes formels finis. Dans C-2°.a : on trouve les activités menées par des acteurs humains déployant une stratégie rationnelle en vue de formuler des problèmes pour des activités c-1°. Dans C-2°.b : on trouve les activités menées pars des acteurs humains mobilisant des stratégies heuristiques, empiriques et opportunistes. Dans C-3°: on trouve des acteurs humains exploitant les ressources que peuvent offrir la chance, et l'exploration du hors rationatité. On notera que c.2° et c.3° sont vides, car l'exploitation des ressources de « stratégie » et de « chance hors rationalité » ne peut se faire que dans le cadre d'activités complexes menées par des concepteurs/modélisateurs C.1° est vide car les activités complexes sont celles qui par définition ne peuvent pas être gérées un Système formel fini implanté dans un ordinateur.			<table><tr><th> Ressources Activités </th><th>Type 1°: Systèmes formels finis</th><th colspan="2">Type 2° Stratégies</th><th colspan="2">Type 3°</th></tr><tr><th></th><th></th><th>Type 2 a: Rationnelles</th><th>Type 2 b: Heuristiques, empiriques, opportunistes</th><th colspan="2">Chance et hors rationalité</th></tr><tr><td>Type c: compliquée</td><td></td><td colspan="2" style="text-align: center;">X</td><td colspan="2" style="text-align: center;">X</td></tr><tr><td>Type C: complexe</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr></table>			Ressources Activités	Type 1°: Systèmes formels finis	Type 2° Stratégies		Type 3°				Type 2 a: Rationnelles	Type 2 b: Heuristiques, empiriques, opportunistes	Chance et hors rationalité		Type c: compliquée		X		X		Type C: complexe	X				
Ressources Activités	Type 1°: Systèmes formels finis	Type 2° Stratégies		Type 3°																										
		Type 2 a: Rationnelles	Type 2 b: Heuristiques, empiriques, opportunistes	Chance et hors rationalité																										
Type c: compliquée		X		X																										
Type C: complexe	X																													
Illustration en génie électrique	Grâce la matrice activités – ressources, on peut analyser une activité comme le dimensionnement (d'un alternateur, d'un déclencheur , ...) et identifier des activités relevant de chacune des cases non vide de la matrice ressources-activités Activités de type c-1 : Une activité de ce type est de résoudre le problème d'optimisation, avec un modèle construit, un cahier des charges fixé, un algorithme d'optimisation choisi : typiquement ce que fait un optimiseur implanté dans un logiciel Activités de type C-2.a : Arriver à formuler des choix, des hypothèses,... sur le modèle à construire, sur les contraintes exprimées dans le cahier des charges, sur le choix de l'algorithme pour dimensionner la structure par une approche par optimisation. Activités de type C-2.b : il s'agit des activités de choix de la méthode d'optimisation, de l'approche de modélisation, des hypothèses sur la formulation des contraintes, des objectifs par analogie, par intuition, ... Activités de type C-3 : Imaginer, trouver une méthode innovante pour réaliser le dimensionnement.																													

Tableau IV.4 : Typologie des activités complexes et compliquées en conception – Synthèse dans la matrice ressources - activités

Intérêt et effectivité de distinguer les activités complexes des activités compliquées

Cette classification en activité compliqué et complexe est utilisée dans [WFR-22] pour répondre à la question suivante :

Q1 : L'activité de conception en général, et dans le génie électrique en particulier, peut-elle, et doit elle être entièrement rationalisée, voire automatisée ?¹⁰

On y montre que répondre à cette question revient à se demander si l'ensemble des activités complexes peut se ramener à des activités compliquées. On argumente que la réponse est négative pour les raisons suivantes :

- Vouloir tout ramener à du compliqué au sens où nous l'entendons, revient à n'utiliser que des systèmes formels finis, autrement dit des logiciels computables sur ordinateurs. Or les systèmes formels finis ont intrinsèquement des limites mises en évidence en logique grâce au théorème de Gödel [GOD-89]. Ce théorème établit 2 résultats : d'une part un système formel fini ne peut à la fois être consistant (signifiant qu'il ne se contredit pas lui-même) et complet (accéder à toutes les vérités), et d'autre part il ne peut justifier dans son propre formalisme ses fondements. Nous ne retiendrons ici que le second résultat qui explique certainement pourquoi, en génie électrique, cette légitimation est toujours réalisée en dernier lieu par un acteur humain qui met en œuvre une stratégie rationnelle « utiliser telle méthode de simulation et d'optimisation » qui implique des choix, des hypothèses, ... toujours discutables, remaniables et que le logiciel lui-même ne justifie pas : c'est au concepteur utilisateur de les justifier
- C'est ensuite un objectif indésirable. L'élément principal pour argumenter que c'est un objectif indésirable est le suivant : vouloir se ramener uniquement à des approches formelles et rationnelles, nous amènerait sans doute à nous priver de ressources du type chance ou hors rationnel, empêcherait ainsi les innovations les plus radicales d'émerger. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, nombre de solutions d'innovation sont le fruit de la chance (Hertz découvre par Hasard le rayonnement électromagnétique [SCV-95]) ou de raisonnements hors du cadre rationnel des connaissances disponibles à un moment donné. Ainsi la première tentative fructueuse de liaison de l'Amérique à l'Europe par voie hertzienne était illogique, car les ondes se déplaçant en ligne droite, elles ne pouvaient suivre la courbure terrestre. Le cadre d'explication ne viendra que bien plus tard avec la découverte de l'ionosphère [CER-06]. La chance, le hors rationnel sont donc bien des ressources, mais qui nécessitent la présence d'un acteur humain donnant du sens à la conjonction fortuite ou osant passer outre, par intuition notamment, le cadre rationnel, formalisable dans un logiciel à un instant donné. La théorie C-K offre un cadre permettant d'analyser de telles dynamiques de conception en légitimant des phases d'évolution dans un espace hors rationalité (l'espace C des concepts).

[WFR-22] illustre concrètement ce que signifie activité complexe et compliqué dans le cas d'activités de conception pour le génie électrique comme l'activité de conception globale, l'activité de calcul ou l'activité de dimensionnement. Ainsi, si l'on prend le niveau de conception global, d'un alternateur pour automobile :

- Les activités compliquées pourront être : Optimiser (en utilisant un algorithme gradient, génétique, ...), simuler (en utilisant une approche réseau de réluctances

¹⁰ : Si l'on se ramène aux notations du tableau IV.4, et de la matrice ressources-activités qui y est introduite, cela revient à se demander : « Est-il possible de supprimer toutes les activités de type C au profit des seules activités c-1° ? »

- ou éléments finis) dans le cadre d'un problème bien formulé, donc des activités computables par un système formel qui est un logiciel implanté sur un ordinateur
- Les activités complexes pourront être :
 - Les activités de stratégie rationnelle dont le but est de faire les choix, les hypothèses en vue de formuler des problèmes solvables pour un but précis et qui seront résolus par une activité de type compliqué. Typiquement il pourra s'agir d' :
 - Arriver à formuler des choix, des hypothèses,... pour simuler un flux magnétique à vide par une approche réseaux de réluctances,
 - Arriver à formuler des choix, des hypothèses,... pour dimensionner la structure par une approche d'optimisation
 - Les activités de stratégies heuristiques, empiriques et opportunistes. Typiquement il pourra s'agir :
 - des activités de choix de structure par analogie (choix des alternateurs à griffe parce que c'est la solution classique), par raisonnement qualitatif (choix d'une topologie d'alternateur à bobinage en épingle pour avoir plus de puissance massique), par intuition, par maturation ...
 - des activités de conception innovante. Il s'agit des activités qui dans le contexte de la conception d'un alternateur ou d'un déclencheur sont : susciter l'émergence de l'idée nouvelle, comme une nouvelle topologie de machine, l'emploi d'un concept, d'un matériau, d'un composant nouveau ...Ce type d'activité ne peut être contrôlé et piloté. On peut en revanche espérer en favoriser l'émergence chez les acteurs humains en utilisant une approche type brainstorming, comme TRIZ [CAV-TI].

IV.b.2 De nouvelles conceptions pour la gestion des connaissances légitimes dans le cadre constructiviste : la séparation : connaissances explicites et tacites, séparation des notions de savoir et de connaissances, ...

Les parties précédentes ont détaillé de nouvelles conceptions pour la conception légitimes dans un cadre constructive.

Cette partie va focaliser sur un aspect important de la conception qui est la gestion des connaissances. On va montrer que pour ce point particulier, de nouvelles conceptions et de nouveaux concepts sont aussi possibles et ont en commun avec les précédentes de proposer comme hypothèse une nécessaire intégration des concepteurs/modélisateurs.

Nous avons vu que dans le cadre de l'épistémologie classique naïve, et dans le cadre des 2 théories de la conception qui y dominaient (Théorie de la décision et théorie SIP, voir partie III.b.2.d), se dégagait une vision assez simple de la connaissance et de sa gestion. Celle-ci pouvait se ramener à des modèles mathématiques, ou des règles formelles. Le tout forme des ensembles de symboles que l'on se contentera simplement de stocker. Comme nous l'avons déjà évoqué aussi, cette vision est en crise, car jamais on a réussi à créer ainsi une bibliothèque de savoir, objective et incontestable en génie électrique.

Il apparaît donc nécessaire d'avoir une autre vision de la connaissance et de sa gestion, et là encore de nouvelles visions radicalement nouvelles peuvent être prise en compte et être légitimes dès lors que l'on admet un cadre épistémologique de type constructiviste comme légitime et possible.

En fait, l'une des hypothèses radicalement nouvelle que l'on peut introduire, si l'on admet l'épistémologie constructive comme possible, avec le fait qu'elle introduit la nécessaire présence de l'acteur humain, est que la connaissance ne serait pas entièrement projetable et

explicitable sous forme de langage et de symboles, et qu'une partie resterait irrémédiablement portée par ces acteurs humains. Cela revient à définir une connaissance qui comporterait par hypothèse deux dimensions :

- **Une dimension de connaissance explicite** : le savoir
- **Une dimension de connaissance implicite** : les connaissances tacites

Ces concepts sont détaillés et illustrés dans le génie électrique dans le tableau IV°.5.

Si l'on admet les deux dimensions de la connaissance, entre connaissances implicites et savoir explicites, un débat peut alors consister à savoir si l'on peut réduire la part de connaissance tacite pour entièrement se ramener à de la connaissance explicite. De plus en plus d'auteurs, et de travaux semblent conclure à l'impossibilité de cette démarche, surtout suite aux échecs dans la mise en œuvre pratique de l'intelligence artificielle des années 80 et 90. Ainsi, comme cela est dit dans [MEM-03] page 6: « *L'ambition parfois affichée par l'Intelligence Artificielle de formaliser (au moins en principe) toute la connaissance humaine n'est sans doute qu'un rêve impossible.* ».

Certains auteurs affirment même la prépondérance de la connaissance tacite. Ainsi, G. Balmissse dans [BAL-05] estime que la connaissance tacite représente de 85% à 90% de la connaissance globale d'une organisation. D. Vinck partage cette analyse d'une prépondérance de la connaissance tacite, qu'il conceptualise en donnant de la connaissance l'image d'un iceberg, dont la partie explicite ne représenterait que la partie émergée [VIN-97]. On pourra se reporter aussi au tome 3 de la méthode d'E. Morin, « La connaissance de la connaissance » [MOR-77], qui développe page 192 de l'édition de 1986 le thème de « L'Iceberg de l'inconscience », ou à d'autres références issues de l'ingénierie de la connaissance où ce thème de l'Iceberg de la connaissance devient classique [EFI-04].

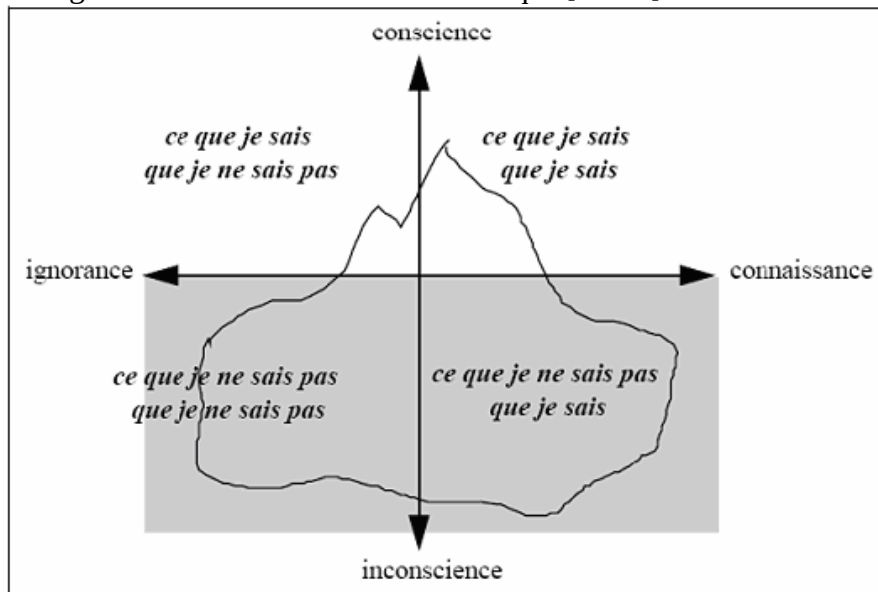


Fig. IV.5 : L'Iceberg de la connaissance selon D. Vinck

Vinck propose dans [VIN-97] de découper les connaissances en deux groupes: les connaissances implicites (coté inconscience) et explicites (coté conscience) qu'il schématise par un modèle de l'iceberg, signifiant la prédominance de la connaissance implicite

- Une dimension de connaissance explicite : le savoir Les connaissances explicites peuvent être formulées par l’usage de codes et symboles. Ce sont donc les connaissances identifiées dans le cadre de l’approche classique, et que nous désignerons par « <u>savoir</u> », reprenons ainsi la dénomination de Grundstein, permettant de les distinguer de la connaissance au sens général comprenant une part de tacite et d’implicite. On peut définir le connaissance explicite, ou savoir de la façon suivante [CHA-05]: « <i>Ce sont des éléments tangibles, transmissibles dans un langage, qui peuvent être énoncés de façon intelligible, être communiqués et capturés dans des écrits, des documents, des bases de données... Ces <u>savoirs</u> comprennent des procédures, des modes d’emploi, des formules, des équations...</i> » - Une dimension de connaissance implicite : les connaissances tacites On introduit cette dimension de la connaissance en supposant que même si des connaissances explicites sont formalisées, elles ne le sont pas complètement, et il reste toujours une part de « non-dit ». Ce non dit reste porté par les personnes. On parlera pour ce type de connaissance, de connaissance implicite ou tacite et on peut la définir ainsi, en reprenant des définitions de [CHA-05] inspirées de [GRU-03]: « <i>C’est la connaissance détenue par les individus, difficilement formalisable et transmissible qu’elle soit individuelle ou collective. Elle caractérise les capacités d’action, d’adaptation et d’évolution. Elle comprend des routines, des logiques d’action individuelles et collectives. Ces connaissances, appelées par Grundstein le savoir-faire, résident dans la tête des personnes qui les détiennent sous formes d’éléments immatériels et intangibles qui peuvent être les talents, les habiletés et les secrets de métiers. Ces connaissances sont souvent essentielles pour l’entreprise, mais elles sont malheureusement peu ou pas toujours explicites</i> »	Illustration dans les activités de conception: Beaucoup de travaux sur la conception, évoluant dans le cadre constructiviste ont noté la présence de cette dimension tacite, surtout dans les travaux relevant de l’approche COG observant les concepteurs en situation. Ainsi W. Visser dans [VIS-04] cite A. Schön étudiant des concepteurs en situation dans le domaine de l’architecture: - page 38, "..., even if designers are able to make, tacitly, "qualitative judgments", they are not necessarily able to state, that is to make explicit, the criteria based on which they make them (Schön,1992,March,p.138)" - Page 39: "As pointed out, already long ago, by the urban designer Christopher Alexander quoted by Schön "our ability to recognize qualities of a spatial configuration does not depend on our being able to give a symbolic description of the rules on the basis of which we recognize them"(Schön,1992,March,p.137)" ... - "Analogously, and as also noticed by Christopher Alexander, even if designers are able to make, tacitly, "qualitative judgments", they are not necessarily able to state, that is to make explicit, the criteria based on which they make them (Schön, 1992,March,p.138)". On arrive donc à attribuer des qualités sans que toutes ne soient exprimables symboliquement. On trouve, dans [VIS-04], au même endroit, l'exemple simple du vélo : les gens font correctement du vélo « en situation » et sont incapables hors situation de décrire explicitement toutes les bonnes actions à effectuer. Illustration en génie électrique : On peut retrouver la présence du tacite dans le processus de conception du génie électrique. Ainsi j’ai pu observer que d’instinct, des concepteurs arrivaient à apprécier la qualité d’un dispositif électromagnétique rien qu’en regardant la forme de son circuit magnétique. Un exemple est la capacité qu’un auteur d’un modèle paramétré peut avoir à expliquer très rapidement pourquoi son modèle ne fonctionne pas dans un nouveau contexte d’utilisation : il peut très vite cerner quelles hypothèses et quelles parties de son modèle sont en cause et pour quelles raisons. Dans le cadre d’une approche plus classique, on lui demanderait à priori de formuler toutes les hypothèses et toutes les limites d’utilisation de son modèle. La pratique montre qu’il est souvent impossible de prévoir à priori tous les contextes dans lesquels le modèle va être employé, et en particulier les mauvais. Par contre la connaissance pour réagir dans la nouvelle situation existe bien sous forme tacite et implicite.
---	---

Tableau IV.5 : Le concept de connaissance implicite porté par les concepteurs (en complément du concept de connaissance explicite)

IV.b.2.a Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions pour l'ingénierie de la connaissance

Si l'on se place dans l'hypothèse que la connaissance est constituée d'une part explicite, mais aussi d'une part tacite et implicite, portée par les concepteurs/modélisateurs, cela implique et rend possible tout un ensemble de nouveaux concepts et de nouveaux modèles dont nous allons donner un aperçu ici.

Des concepts nécessitant la présence des concepteurs/modélisateurs

Ainsi, cela permet l'introduction:

- D'une hypothèse de séparation des concepts de savoirs et de connaissances : on propose ainsi une alternative aux hypothèses du cadre classique amenant à confondre, à mettre au même plan, connaissances et savoirs, parce que l'hypothèse du cadre classique consistait à considérer que toute la connaissance pouvait se projeter en savoir.
- De théories donnant une intelligibilité à la création et à l'échange des connaissances entre concepteurs/modélisateurs comme le modèle de Nonaka&Takeuchi. Ce modèle, qui fait office de référence dans le domaine de l'ingénierie de la connaissance ou « Knowledge mangement », propose une modélisation de la dynamique d'échange de connaissance dans les organisations [NON-95] avec cette double nature explicite/implicite.

Illustration et utilisation dans les activités de conception en génie électrique :

Nous avons utilisé le modèle de Nonaka et Takeuchi en génie électrique pour la capitalisation et l'échange des savoirs et la mise en relation des connaissances en vue du dimensionnement des systèmes : Ceci s'est fait dans les travaux de A. Chandoul [CHA-04] et S. Aysegul [AYS-06]. Dans ce cadre l'objet de connaissance, ou savoir, sur lequel on s'est focalisé, est le modèle mathématique et physique des composants (cf. Fig. I.3). L'enjeu était de réfléchir à la capitalisation et la réutilisation de ces modèles d'une application à une autre, surtout pour être capable de constituer rapidement le modèle d'un système en réutilisant au maximum des modèles de composants préexistants (pour des applications typiques de réseau de bord automobile ou aviation ...). Grâce à ce modèle, nous avons pris conscience qu'il était tout aussi fondamental d'assurer l'échange des modèles (les savoirs), que d'assurer un moyen d'échanger les connaissances tacites autour de ces modèles. Ces connaissances tacites concernent des hypothèses, des savoirs, des limites, ... que le concepteur d'un modèle n'a jamais complètement formalisé, ne serait-ce parce qu'il n'a jamais imaginé tous les contextes possibles dans lesquels son modèle sera employé. C'est pourquoi il a été imaginé le concept de plate-forme Internet, notamment dans le cadre du projet DIMOCODE, dans laquelle ces modèles étaient d'abord capitalisés sous forme explicite et sous forme d'objet intermédiaires [JEA-98], ce qui reste classique. Mais la réelle innovation, est que ces plates-formes offrent par ailleurs la possibilité de savoir quel est l'auteur qui mis le modèle à disposition, de sorte à pouvoir le contacter et solliciter jusqu'à de l'échange et du conseil en direct, sous forme de visioconférence de sorte à offrir des mécanismes d'échange de connaissance tacite par socialisation. Ces plates formes permettent ainsi non seulement la capitalisation et l'échange des savoirs, autorisant ainsi les opérations d'extériorisation et d'internalisation. Mais ces plates-formes mettent aussi en relations les connaissances (au sens des acteurs connaissant) pour favoriser l'échange des connaissances tacites par socialisation. Le tout doit permettre la combinaison de savoirs sur les composants pour créer des savoirs sur les systèmes aptes à les dimensionner et à les optimiser.

- De stratégies pour la création d'une dynamique entre connaissance et savoir selon l'axe de progrès de Grundstein : En complément du modèle de Nonaka et Takeuchi [NON-95], M. Grundstein [GRU-03] a formulé et identifié une stratégie vertueuse à mettre en place et qu'il appelle l'axe de progrès. Il s'agit de renforcer la production de connaissances individuelles et leur passage de leur état «non formalisé et privé » à un état «formalisé et disséminé » en utilisant la spirale de conversion de Nonaka et Takeuchi.

Illustration et utilisation dans les activités de conception en génie électrique :

Dans le cadre des travaux de S. Aysegul [AYS-06] et A. Chandoul [CHA-04] qui visaient à mettre en place une plate-forme pour échanger des savoirs que sont les modèles paramétrés pour faire du

dimensionnement et de l'analyse système, il a été envisagé d'utiliser des outils comme les forums, ou les wikis pour créer une dynamique qui soit de l'ordre de cet axe de progrès, à l'instar de ce qui est évoqué dans [EFI-04]. L'idée est que l'utilisateur d'un modèle, puisse poser des questions à la personne (la connaissance qui a produit le modèle). Ce jeu de questions – réponses va permettre de formaliser du tacite entre le concepteur modélisateur « connaissant » qui a produit le modèle et le concepteur-modélisateur qui essaie de réutiliser le modèle.

En bref, grâce aux développements précédents, la connaissance devient un objet complexe comportant une partie explicite et une partie tacite. Les illustrations et mises en contexte dans le génie électrique que nous avons faites, ont pour objet de convaincre que ces approches restent pertinentes même si l'objectif reste un fort axe sur les savoirs comme peuvent l'être les savoirs de modélisation mathématiques physiques que l'on utilise dans les logiciels de dimensionnement, d'optimisation et de simulation de composants et de systèmes.

Comme le synthétise la figure IV.6, ces hypothèses légitimes dans un cadre constructiviste, vont permettre grâce à des approches comme le modèle de Nonaka&Takeuchi et l'Axe de progrès de Grundstein de définir de nouvelles orientations pour l'ingénierie de la connaissance. Tout cela va aussi induire de nouveaux objets d'étude en complément de ceux préconisés par l'approche OSMO : comme nous le montrerons en fin de chapitre, il s'agira des « Systèmes », des « Connaissances », des « Compétences » et des « Organisations ».

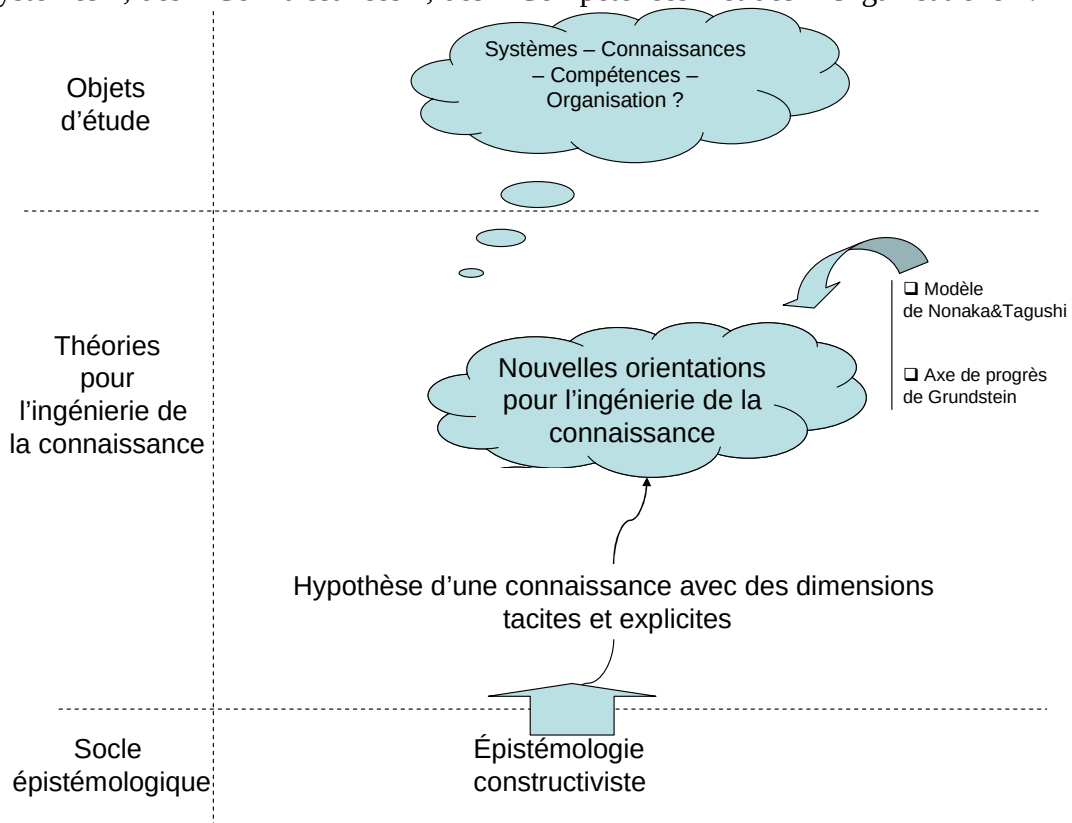


Figure IV.6°: Le socle épistémologique constructiviste rend possible l'études de nouvelles conception de l'ingénierie de la connaissance dans laquelle le Concepteur/Modélisateur est une « ressource » porteuse de connaissances tacites et implicites

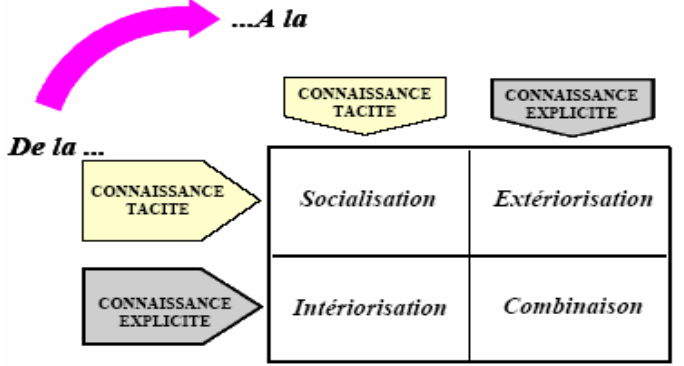
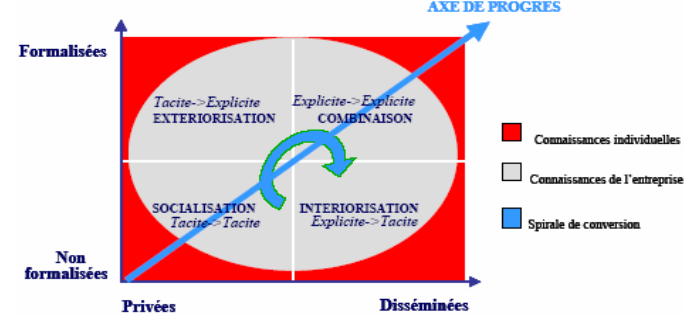
Hypothèses : La séparation des concepts de savoirs et de connaissances	- Le <u>savoir</u> est ce qui se présente sous forme d'information <u>explicite</u> à laquelle un individu peut donner un sens grâce à des cadres d'interprétations, pour in fine créer des connaissances et des compétences portées par des individus, et qui sont de par ce fait qu'une autre nature que les savoirs. Les savoirs, aussi appelés objets de connaissance par certains auteurs [PRU-01] [BAI-04] (et non connaissance qui est dans la « tête » des acteurs), sont les théories, modèles algorithmes, ... qui peuvent se présenter sous forme de papier, d'articles, de livres, de logiciels, ... Ce sont soit des savoirs de communautés, comme la communauté du génie électrique, soit des savoirs locaux faisant partie de la culture d'une entreprise par exemple.	- La <u>connaissance</u> est portée par définition par l'acteur l'humain, seul ou en communauté. La connaissance contient, une part explicitable qui peut ainsi se transformer en savoir ou objet de connaissance, et une part <u>tacite</u>. Si la part de savoir peut continuellement augmenter, cela ne peut aller jusqu'à l'épuisement de la connaissance tacite qui est jugée irréductible
Un exemple de modèle basé sur les hypothèses pour la création et l'échange des connaissances : le modèle de Nonaka & Takeuchi	L'intérêt de ce modèle est qu'il décrit quatre modes de conversion de la connaissance au sein d'une organisation (repris de [CHA-04]) : La socialisation est la transformation de la connaissance tacite en connaissance tacite directement d'individu à individu, par l'observation, l'imitation et pratique, l'explication informelle, ... L'extériorisation est la transformation de la connaissance tacite en connaissance explicite où l'individu essaie d'expliquer son art et de convertir son expérience en connaissances explicites. La combinaison est la transformation de la connaissance explicite sous une nouvelle forme de connaissance explicite où l'individu combine divers éléments de connaissances explicites pour constituer de nouvelles connaissances explicites elles aussi. L'intériorisation est la transformation de la connaissance explicite en connaissance tacite où les connaissances explicites diffusées dans l'organisation sont assimilées par les individus.	 Source : The Knowledge -Creating Company, Oxford University Press, 1995 Figure IV .7: Le cycle de création de la connaissance [NON-95]
Un exemple de stratégie basé sur les hypothèses et le modèle précédent : L'axe de progrès de Grundstein	La figure IV.6 nous montre le processus global qu'il s'agit de renforcer, selon un axe de progrès favorisant la production de connaissances individuelles et leur passage de leur état «non formalisé et privé » à un état «formalisé et disséminé », selon la spirale de conversion de Nonaka et Takeuchi. L'axe de progrès indique une direction qui vise à accroître les connaissances structurées. D'autre part, nous voyons la perspective dynamique qui met en synergie les échanges de connaissances non structurées qui s'opèrent dans les processus de socialisation, et l'accès aux connaissances structurées qui se construisent dans les processus de combinaison. Cette synergie ajoute de la valeur aux connaissances de l'entreprise. [GRU-03]	 Figure IV.8: L'axe de progrès dit de Grunstein

Tableau IV.5 : Des concepts nécessitant la présence des concepteurs/modélisateurs pour l'ingénierie de la connaissance

IV.b.3 Vers l'approche « Systèmes – Connaissances – Compétences – Organisations » (SCCO)

Comme les développements précédents l'ont montré, et comme nous l'avons synthétisé dans les figures IV.1 et IV.6, les nouvelles théories pour la conception et l'ingénierie de la connaissance nécessitent l'introduction de nouveaux objets d'études. Les nouveaux objets d'études que nous proposons sont des:

- Systèmes intégrant les acteurs humains,
- Connaissances portées par les acteurs humains,
- Compétences portées par les mêmes acteurs humains,
- Organisations qui permettent aux acteurs humains de travailler ensemble,

définissant ainsi une nouvelle approche de la conception que nous appellerons par la suite l'approche SCCO, et qui se positionne donc par rapport à l'approche OSMO, en permettant une intégration des acteurs humains.

Pour conclure ce chapitre nous allons donc :

- définir les concepts de Systèmes, de Connaissances de Compétences et d'Organisation issues des nouvelles conceptions de la conception,
- montrer en quoi ces objets d'études vont permettre d'intégrer le point de vue proposés par la nouvelle vision épistémologique et les nouvelles théories résultantes.
- montrer comment cette approche SCCO, va permettre de créer de nouveaux axes de recherche pour la conception en génie électrique.

IV.b.3.a Les nouveaux objets d'études pour la conception proposés par l'approche SCCO

Les Systèmes intégrant les acteurs humains

Le génie électrique aborde déjà depuis un certain nombre d'années une approche système [GER-93], [REG-03], [LAN-06], [SAR-06] : celle-ci préconise, lorsqu'on réalise un système tel qu'un ensemble convertisseur commande - machine, une chaîne de traction en automobile, ou une chaîne d'actionnement dans l'aéronautique, de prendre simultanément et de front les problèmes de dimensionnement, de commandes et de sûreté de fonctionnement, et non plus de gérer ces problèmes successivement. On espère ainsi avoir accès à des propriétés et à des dimensions du système inaccessibles par étude des composants pris isolément. On prend ainsi en compte la notion système pour les objets et pour les méthodes (cf. tableau IV.3)

Mais dans le but de s'intéresser à la conception, l'approche système définie ici, ira jusqu'à préconiser de s'intéresser à des découpages systèmes qui iront jusqu'à intégrer les acteurs humains que sont les concepteurs – modélisateurs, ceci notamment pour avoir un nouveau cadre de compréhension et de déploiement pour l'activité de conception.

Des exemples de ces systèmes sont :

- un concepteur + des méthodes et des outils d'analyse pour faire de la simulation
- un concepteur + des méthodes et des outils d'optimisation pour faire du pré-dimensionnement et des études de faisabilités,
- des concepteurs + des méthodes et des outils d'optimisation pour faire du dimensionnement collaboratif,
- des concepteurs + des méthodes et outils de conception collaborative pour faire de la capitalisation et de l'échange de savoirs et de connaissances,

- des concepteurs + des stratégies d'aide à l'innovation pour faire de la conception innovante
- ...

Tout comme les objets (au sens des machines, des composants, des systèmes multi-machines et multi-composants, ...) sont le produit de l'approche OSMO, ces systèmes peuvent être vus comme des produits de l'approche SCCO.

Les Connaissances portées par les acteurs humains

Les connaissances sont ici considérées avec l'hypothèse consistant à dire que même si l'on peut mettre en place des dynamiques vertueuses de formalisation croissante et continue des connaissances (à l'instar de l'axe de progrès de Grundstein pour créer des savoirs, voir tableau IV.5°), il restera toujours une partie des connaissances portées par les acteurs humains sous formes tacites et implicites : d'où la nécessité de considérer des systèmes intégrant ces concepteurs - modélisateurs comme porteurs de ces connaissances tacites et implicites.

Les connaissances sont donc une extension du concept de savoir de l'approche OSMO, en permettant d'intégrer les parties de connaissances portées par les acteurs humains sous formes tacites et implicites.

Les Compétences portées par les acteurs humains

Les compétences sont les capacités à réutiliser les connaissances et les savoirs dans un nouveau contexte d'action

Les compétences se rattachent donc par exemple aux concepts comme le savoir-faire, le savoir - combiner, le savoir comprendre [HAT-92], les talents, les habiletés [GRU-03] ..., l'expérience.

Ces compétences utilisent des ressources comme l'intuition, la maturation, l'empathie, le raisonnement par analogie ...

Les compétences sont donc une extension du concept de méthode de l'approche OSMO, dans le sens où comme la méthode, elles permettent le cadencement et l'avancement de l'activité.

La différence fondamentale dans les approches telles que nous les définissons étant que :

- les méthodes de l'approche OSMO cadencent et font avancer l'activité de conception en pouvant être automatisées par des outils logiciels (il s'agit typiquement des méthodes de simulation, d'optimisation, ...)
- les compétences de l'approche SCCO cadencent et font avancer l'activité de conception en étant portés par les concepteurs modélisateurs au travers de leur expérience, de leur savoir-faire, ...

Les Organisations qui permettent aux acteurs humains de collaborer

Les organisations de l'approche SCCO que nous définissons sont l'équivalent des outils dans l'approche OSMO.

Les outils, et en particulier les outils logiciels, permettent en effet de combiner et de rendre opérationnelles les méthodes dans OSMO.

Dans SCCO, ce sont des organisations qui vont mettre en relation les acteurs porteurs de connaissances et de compétences et vont ainsi permettre de combiner et de rendre opérationnelles ces compétences.

Ces organisations sont typiquement les processus, les hiérarchies, ... que nous devons mettre en place dans des systèmes de conception collaborative, des systèmes de capitalisation et d'échanges de connaissances au service de la conception pour les enjeux du génie

électrique. Le génie mécanique, proche du génie électrique, a notamment identifié que l'aspect organisationnel était un cadre dans lequel se développait la conception [RUI-05].

En effet, comme nous avons pu le voir précédemment, et comme nous aurons encore l'occasion de détailler par la suite, si nous considérons que la part tacite de la connaissance est irréductible, très vite on est amené à mettre en place des organisations qui ont vocation :

- à gérer les individus qui sont support de connaissance, et en particulier de la connaissance tacite et implicite et à les mettre en inter-action pour susciter notamment des échanges de connaissance tacite par socialisation,
- à gérer des compétences, elles aussi portées par des individus et qui sont la capacité à utiliser les connaissances en situation, pour agir et atteindre de nouveaux objectifs.

En bref, et comme le synthétise la figure IV.7, l'approche SCCO propose d'ajouter comme nouveaux objets d'étude de la conception :

- les Systèmes qui intègrent les concepteurs/modélisateurs,
- les connaissances dont au moins la part tacite ne peut être portées que par les concepteurs/modélisateurs,
- les compétences qui sont le savoir-faire pour gérer les activités complexes de la conception et qui sont portées par les concepteurs/modélisateurs,
- les organisations qui ont à vocation à coordonner les concepteurs/modélisateurs.

On voit ainsi que ces objets d'études vont permettre d'aller vers une approche de la conception intégrant le(s) concepteur(s)/modélisateur(s).

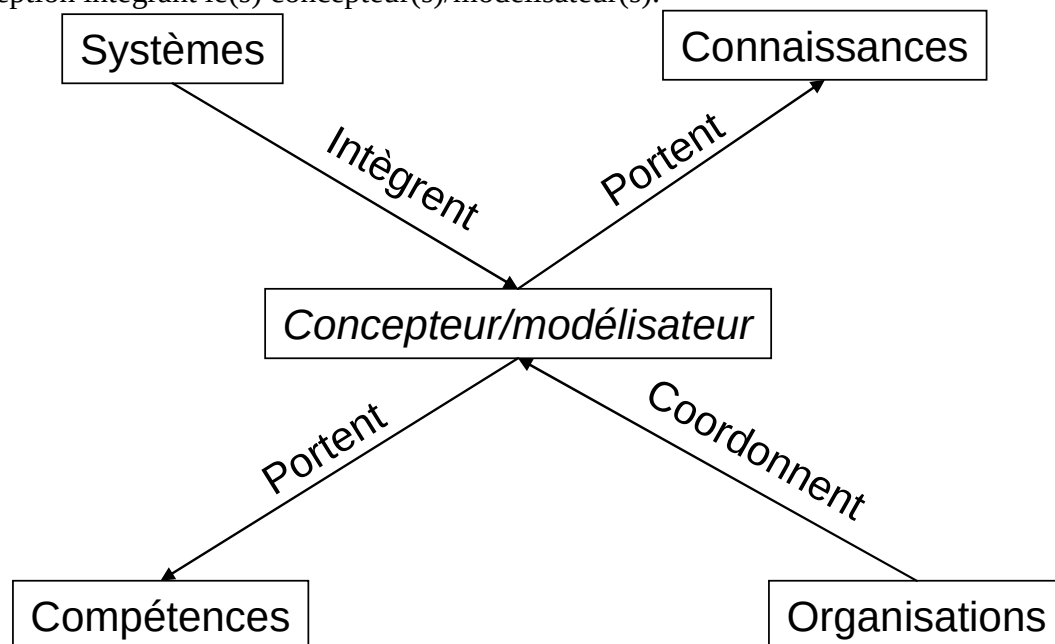


Figure IV.7°: Les nouveaux objets d'études proposés par l'approche SCCO – Liens avec le concepteur/modélisateur

IV.b.3.b Une approche SCCO complémentaire de l'approche OSMO

L'approche SCCO n'est pas concurrente, mais bien complémentaire de l'approche OSMO, en témoigne le fait que les concepteurs modélisateurs des systèmes SCCO utilisent les méthodes, les savoirs, les outils et les objets de l'approche OSMO

Le cadre SCCO offre en fait un espace de recherche permettant de comprendre comment les éléments de l'approche OSMO s'articulent avec les acteurs humains que sont les concepteurs modélisateurs dans le cadre de systèmes et d'organisations.

IV.b.3.c Des problèmes dont l'étude est rendue possible dans l'approche SCCO

Grâce à l'approche SCCO, de nouvelles perspectives de recherches sont rendues possibles :

- La formulation du problème de conception : le cadre OSMO tel que nous l'avons défini ne peut intervenir que dès lors que les problèmes sont suffisamment bien formulés pour pouvoir être résolus par des méthodes et des outils. L'espace ouvert par l'approche SCCO va offrir un cadre où l'on pourra étudier les dynamiques faisant intervenir les acteurs humains pour passer du problème initial mal posé, à un, ou à une suite de problèmes bien posés pouvant être traités dans le cadre OSMO
- Les problèmes liés aux connaissances et compétences : comment les capitaliser, les transférer, en ne se cantonnant plus à une seule approche d'explicitation formelle. Pourront alors notamment se poser des questions comme :
 - Comment créer des compétences à partir de savoir ?
 - Comment favoriser la formalisation de la plus grande part possible des connaissances tacites et implicites en savoir formel ? (tout en considérant que la part de tacite et d'implicite reste inaliénable et que le Concepteur/Modelisateur doit être une ressource porteuse de cette connaissance)
 - ...
- Les problèmes d'innovation utilisant des ressources portées par les acteurs humains comme l'intuition, la maturation, le raisonnement par analogie pour aller vers une vision complète de la conception dépassant le cadre du dimensionnement et de l'optimisation qu'une approche OSMO très formelle et très logicielle ne nous permet guère de dépasser
- Les problèmes de complémentarité des outils logiciels et des acteurs humains. Cette question n'est pas de mise dans l'approche OSMO stricte et naïve, où l'humain est signe de subjectivité, d'erreur, de non reproductibilité ... Cette question devient légitime et fondamentale dans l'approche SCCO. Ainsi nous avons développé cette question dans [WFC-56] et [WFR-22] pour montrer la complémentarité des outils logiciels et des acteurs humains, les premiers prenant en charge des activités compliquées et les seconds s'occupant des activités complexes (au sens de complexe et compliqué définis précédemment dans la paragraphe intitulé « Des concepts permettant de caractériser des activités complexes et compliquées en conception »).
- Les problèmes de conception collaborative vont poser la question de savoir comment mettre en commun les connaissances et les compétences via des organisations. Cette identification de la nécessité de la conception collaborative ne peut se concevoir que si on admet comme irréductible la présence des acteurs humains avec leurs connaissances et leurs compétences. Nous espérons avoir montré, par l'argumentation de ce manuscrit, que la conception, l'ingénierie se devait d'intégrer les organisations et les théories attenantes.
- ...

IV.b.3.c De nouvelles méthodologies pour l'étude de la conception rendue possibles dans l'approche SCCO

Grâce à l'approche SCCO, au delà des perspectives de problèmes nouveaux, ce sont aussi des approches nouvelles de la conception qui sont possibles :

- Des approches d'étude de l'activité de conception par observation des concepteurs des situations de conception (comme nous l'avons fait dans le cadre de la thèse de I. Ammar que nous détaillerons dans la partie suivante).

- Des approches de conception par l'usage, qui par mise en situation des utilisateurs finaux et des dispositifs que l'on veut concevoir, essayent de cerner l'usage qui en est fait en vue de définir de nouvelles fonctionnalités et de nouveaux composants [MAX-04], [SCH-97].

IV.b.3.e Conclusion, ou comment l'approche SCCO peut-elle être une alternative pour surmonter la crise de l'approche OSMO

L'approche SCCO en étendant l'espace de recherche de l'approche OSMO, permet une intégration des acteurs humains.

L'idée est que cela permette tout un ensemble d'hypothèses et de dimensions exploratoires (comme l'aspect connaissance, compétences, organisations) qui peuvent être des pistes pour surmonter une crise d'une conception purement cantonnée sur les objets, les savoirs, les méthodes et les outils.

Ceci signifie donc que le système que nous devons étudier, pour développer une discipline transversale de la conception pour le génie électrique, n'est pas le système :

OBJET A CONCEVOIR
+ METHODES ET OUTILS INFORMATISABLES

mais bien :

OBJET A CONCEVOIR
+ METHODES ET OUTILS INFORMATISABLES
+ **CONCEPTEUR(S)/MODELISATEUR(S)**

Il s'agit là d'une évolution majeure, qui a été entamée depuis un certain temps dans d'autres disciplines (comme l'architecture, la mécanique, ...) mais qui est certainement originale dans le domaine des travaux scientifiques et universitaires de la communauté gravitant autour du génie électrique.

Pour conclure définitivement, ce voyage qui nous a fait passer d'un extrême (l'OBJET de l'approche OSMO) à l'autre (l'ORGANISATION de l'approche SCCO), et pour ceux qui pourraient être surpris par ce cheminement, il est peut-être utile de rappeler que les principales théories sur la conception dont nous disposons à ce jour ont été formulées par des chercheurs qui ont réalisé le cheminement exactement inverse : il sont partis des organisations pour échauffer des théories sur la conception qui ont eu parfois un impact non négligeable, voire considérable pour la conception des objets. Cela est vrai pour H. Simon [SIM-69], reconnu comme étant le père fondateur de la conception vue comme une discipline, et théoricien de l'approche SIP, qui a initié la grande déferlante des travaux sur les logiciels de conception d'objets. Cela est vrai aussi pour des chercheurs comme A. Hatchuel, B. Weil, P. Le Masson promoteurs de la théorie C-K [HAT-04]. De leur point de vue l'interaction entre conception et organisation est fondamentale !

Caressons donc le rêve qu'en convaincant des chercheurs issus du monde de la conception des objets avec une vision ingénierie et physique appliquée, à croiser leurs regards avec les approches et les concepts des sciences des organisations, l'ingénierie des connaissances, le génie industriel, les sciences de la complexité, la psychologie, ... Nous pourrions aller vers une meilleure compréhension de la conception au profit d'une amélioration de son efficacité.

Résumé introductif du chapitre V

Ce chapitre va présenter des travaux et des perspectives souvent peu ou pas comprises dans les communautés du génie électrique, car sortant du cadre classique et strict des modèles, des algorithmes, des outils, des savoirs physiques et mathématiques, ..., bref sortant selon notre propos de la stricte approche OSMO.

C'est la conjonction de l'intuition de leur nécessaire développement et de l'incompréhension suscitée qui est à l'origine des argumentaires des parties III et IV:

- Face au scepticisme que peut susciter le fait de sortir de l'approche classique, le chapitre III a développé la thèse d'une crise qui met en évidence les limites et le caractère non suffisant de l'approche classique OSMO (sans en remettre en cause la nécessité).
- Le chapitre IV a argumenté une vision de la conception comme un objet complexe impliquant de façon inaliénable les concepteurs/modélisateurs (comme porteurs de connaissances tacites, porteurs des activités complexes de la conception) et que ce point de vue pouvait parfaitement être défendu et construit scientifiquement, pour peu que l'on admette comme légitime des cadres épistémologiques alternatifs comme le cadre constructiviste.

Tout cela est synthétisé en invitant à passer de l'approche OSMO à l'approche SCCO. Cette dernière invite à considérer de nouveaux objets d'étude pour la conception : les Systèmes, les Connaissances, les Compétences et les Organisations.

Ces longs développements qui ont précédé, vont à présent pouvoir jouer leur rôle : fournir les fondements et les justifications des travaux que nous allons présenter dans cette cinquième partie.

Ainsi, armé de l'approche SCCO, nous pourrons :

- 1° Offrir le cadre explicatif de stratégies et de travaux de recherche intra et interdisciplinaire dans lesquels le chercheur que je suis est intégré comme un observateur/acteur.
- 2° Faire une re-lecture de travaux sur les méthodes, outils et plates-formes de dimensionnement, présentés dans le chapitre II. Cela nous permettra de légitimer certains aspects de ces travaux qui ne se justifiaient pas, ou mal, dans l'approche OSMO et dans un cadre épistémologique classique stricte, voire naïf, comme le fait d'utiliser des modèles analytiques (à priori dépassés par des approches numériques) ou des algorithmes gradients (à priori surpassés par des algorithmes globaux). Cela nous permettra aussi de définir des perspectives pour ces travaux qui ne sont pas apparentes dans une approche classique,
- 3° Faire une présentation, avec à présent toute la légitimité nécessaire, d'un certain nombre de travaux sur la conception collaborative ou sur l'ingénierie de la connaissance avec des notions de gestion des savoirs et de capitalisation des connaissances (où les aspects connaissances, compétences et organisation prennent des dimensions incontournables),
- 4° Dresser un certain nombre de perspectives, permises par le cadre SCCO, et qui nous offrent de nouveaux moyens effectifs pour aborder les enjeux sociétaux du génie électrique. Citons d'ores et déjà la conception innovante avec une gestion des ressources que sont les concepteurs/modélisateurs connaissants et compétents, ou la conception par l'usage intégrant les innovations issues de l'analyse du comportement des potentiels utilisateurs.

Nous espérons ainsi convaincre que la nouvelle approche SCCO qui en résulte est effective pour le génie électrique, soit apte à fournir des directions, des stratégies et des projets de recherche et d'action qui doivent permettre d'aller vers une conception toujours plus efficace.

V. Travaux dans le cadre de l'approche « Systèmes – Connaissances – Compétences- Organisations » (SCCO): de nouvelles conceptions de la conception pour le génie électrique

V.a Démarche et stratégies des travaux dans le cadre de l'approche SCCO

V.a.1 Une démarche intra et interdisciplinaire

Les recherches, de l'ordre de l'approche SCCO que je vais présenter sont intra et interdisciplinaires.

Elles se sont effectuées dans le cadre du groupe Conception et Dimensionnement Intégrés. Ce groupe a vocation à étudier à la problématique de la conception en génie électrique de façon générale. Ce groupe a, à présent, fusionné avec l'équipe Modélisation pour faire un groupe commun sur le thème de la conception et de la modélisation.

La démarche de recherche est en effet d'abord intra-disciplinaire. Ceci signifie qu'on y étudie à la fois la conception des micro-systèmes magnétiques, de l'électronique de puissance, des machines électriques, des ensembles convertisseurs – commandes - machines et des réseaux. Il s'agit d'une approche intra-disciplinaire puisque chacun de ces champs est bien une discipline, ou un métier du génie électrique, appelant ses propres équipes de recherches (que l'on retrouve dans notre laboratoire LEG devenu G2ELAB et dans la communauté du génie électrique). En cohérence avec SCCO, la collaboration avec les équipes, porteuses des connaissances et compétences de ces métiers, se fait dans l'esprit suivant :

- nous abordons avec ces équipes certains de leurs problèmes de conception,
- il nous appartient dès lors de faire de ces problèmes, des problématiques, pour lesquelles nous espérons trouver des stratégies, des méthodes, des outils, des organisations, efficaces en utilisant au mieux les connaissances et les compétences portées par les collaborateurs de ces métiers partenaires.

Nous espérons ainsi établir un cercle vertueux : en problématisant dans un métier, puis en généralisant, on peut établir des stratégies des méthodes, des outils qui peuvent être réutilisés dans d'autres métiers. Ainsi l'approche PASCOSMA (voir partie II) a été élaborée pour le dimensionnement de machines classiques, type moteurs, et a par la suite été réutilisée pour le dimensionnement en électronique de puissance, en micro-systèmes, pour la conception d'ensemble convertisseurs – commandes – machines (Voir tableau II.4).

Mais la recherche menée est aussi inter-disciplinaire entre le génie électrique et d'autres disciplines. Ainsi ce manuscrit s'appuie-t-il sur des références et résultats issus de l'épistémologie, de la sociologie industrielle, des sciences de la complexité, voire de la psychologie pour mieux comprendre et mieux cerner la nature des processus de conception : l'objectif est d'intégrer le ou les acteurs humains dans les systèmes de conception que nous proposons. Cette stratégie n'est peut-être d'ailleurs compréhensible que dans le cadre de l'approche SCCO et acceptable que si l'on admet comme possible et légitime le point de vue qu'elle propose. Bien entendu il s'agit d'utiliser aussi les résultats les plus récents de disciplines comme l'informatique, ou les mathématiques, dans le cadre d'une interdisciplinarité déjà plus classique, mais toujours aussi nécessaire. C'est cette stratégie qui

justifie tous les travaux de recherches que nous avons menées en collaboration avec l'IPI¹¹ (Institut de la Production et des organisations, cf. glossaire), le laboratoire Grenoblois GSCOP¹², notre implication dans le cluster régional GOSPI¹³ qui sont des lieux où sont abordées les problématiques de la conception avec une vision transversale et une intégration dans les organisations que sont les systèmes de production.

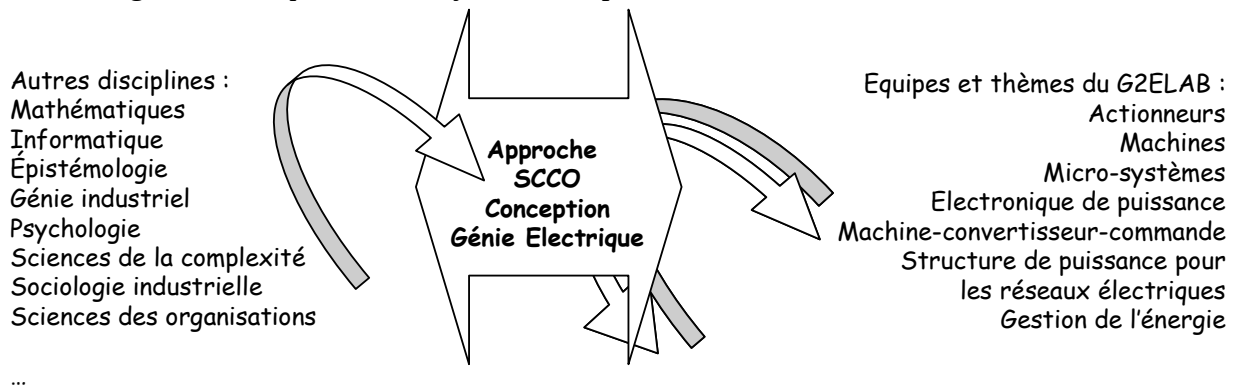


Figure V.1: Une stratégie de recherche intra et inter-disciplinaire au génie électrique

V.a.2 Une démarche d'observateur acteur

Au delà de cette stratégie globale inter et intra-disciplinaire, il s'agit d'être un observateur acteur de la conception en génie électrique en action.

Observateur au contact des concepteurs modélisateurs industriels ou du milieu universitaire, qui possèdent les connaissances et les compétences. Il s'agit de les accompagner pour les observer en situation et en action de conception, à l'image bien modeste de l'observation de « Science en action » proposée par un maître du genre, B. Latour [LAT-95], et d'autres travaux qui ont formalisé et mis en œuvre cette démarche en génie mécanique [BAI-04].

Acteur, car étant moi-même un ingénieur du génie électrique, et pour mieux aborder les problèmes et problématiques, la stratégie est de s'impliquer et de comprendre, voire concevoir soi-même dans les différents métiers côtoyés.

Ainsi j'ai été personnellement concepteur acteur dans les machines électriques classiques, puis dans les micro-systèmes et j'aborde à présent la conception des réseaux (réseaux embarqués type automobile, avionique et réseaux électrique du bâtiment).

L'approche SCCO invite ainsi non seulement à intégrer le concepteur/modélisateur dans les systèmes observés, mais invite à avoir une vision réflexive de sa recherche en étant soi-même un concepteur/modélisateur/observateur/acteur intégré dans les systèmes observés.

¹¹ : Institut de la Production et des organisations Industrielles. Il s'agit d'Un réseau de Laboratoires de Recherche dans le domaine des Systèmes de Production et de l'Innovation. Voir : <http://www.msh-alpes.prd.fr/IPI/>

¹² : Il s'agit du laboratoire Grenoblois des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production (voir <http://www.g-scop.fr/>).

¹³ : Cluster de la région Rhône Alpes dans la thématique des Organisations et des Systèmes de Production Industrielle (voir <http://www.cluster-gospi.fr>). Ce cluster est une fédération inter-disciplinaire, permettant des projets comme ASPIC, qui offre un support pour d'autres projets comme DIMOCODE. Cette fédération permet un croisement disciplinaire des thématiques conceptions, organisations, connaissances, compétences, ...

V.b Une relecture des travaux menés sur les méthodes, outils et plates-formes de dimensionnement dans le cadre SCCO: re-légitimation, relecture, nouvelles perspectives

V.b.1 Re-légitimation de travaux menés dans le cadre de l'approche SCCO : re-légitimation de l'utilisation des approches analytiques et des algorithmes d'optimisation de type gradient

Les fondements de certains travaux menés (comme le fait d'utiliser des approches gradients, des modèles analytiques, ...) vont trouver une nouvelle justification (voire une justification tout court) dans le cadre SCCO, dans lequel on intègre l'acteur humain avec ses dynamiques de création de connaissances et de compétences, alors que la justification de ces mêmes travaux est difficile voire impossible à trouver dans le cadre OSMO assujetti à une vision classique naïve stricte s'intéressant qu'aux propriétés des méthodes, des outils et des dispositifs.

Ceci est concrètement argumenté dans le tableau V.1 sur les points précis suivants :

- **La RE - légitimation des travaux sur les modèles et générateurs de modèles analytiques et semi-analytiques** : L'un des soucis récurrent auquel j'ai été confronté dans mes recherches sur les méthodes et outils pour le pré-dimensionnement et les études de faisabilité est la justification de l'utilisation de modèles analytiques et de modèles semi-analytiques comme typiquement les réseaux de réluctances présentées dans la partie II et de façon générale toutes les approches du tableau II.2 (approches analytiques et semi-analytiques) implantées dans les outils du tableau II.3 (outils logiciel de type générateurs de modèles utilisant les approches analytiques et semi-analytiques).

Les critiques, qui posent la question fondamentale de la justification de tous les travaux sur les générateurs à base de modèles analytiques et semi-analytiques sont toujours du même ordre:

Quel est l'intérêt d'utiliser des approches analytiques et semi-analytiques qui sont des modèles approximatifs, surtout à l'heure d'approches numériques beaucoup plus fines et rigoureuses ?

Intuitivement, et dans ma position d'observateur acteur, il m'est apparu que ces approches restaient indispensables : soit que j'en avais besoin pour concevoir, soit que j'observais que les concepteurs en bureau d'études ou en milieu universitaire les utilisaient d'ailleurs en s'excusant (souvent !) d'utiliser des choses aussi « rudimentaires ».

Il me semble que les justifications ne peuvent être réellement comprises, et les malentendus réellement soulevés que dès lors que l'on mène une analyse cheminant entre l'approche OSMO et l'approche SCCO comme l'illustre le tableau V.1. On y argumente notamment que les approches analytiques sont, dans certaines phases et certaines conditions, un savoir, plus facilement intelligible pour l'acteur humain pour créer des connaissances et des compétences, que des approches numériques très mathématiques et « boîte noire » (qui elles, se justifieront dans d'autres phases et d'autres conditions).

- **la Re-légitimation des travaux utilisant des algorithmes de type gradient et de l'effort de produire les gradients formellement exacts** : L'une des autres difficultés rencontrée au cours des recherches passées est la justification de l'emploi d'algorithmes de type gradient (type SQP ou minimisation séquentielle quadratique de l'algorithme VF13 [HAR-87], [POW-82], [POW-85] dont nous faisons un usage intensif), et par suite la justification des efforts faits pour calculer les gradients de manière formellement exactes.

Les critiques, qui posent la question de l'intérêt de ces approches se ramènent à la question suivante:

Quel est l'intérêt d'utiliser des approches à base de gradient, alors que ces approches se font piéger par des optimums locaux et qu'il existe en plus des approches globales n'ayant pas besoin de l'information du gradient ?

Intuitivement, et dans ma position d'observateur acteur, il m'est apparu que ces approches restaient indispensables : lorsque je suis en situation de conception, ce sont des approches que je commence à mettre en oeuvre particulièrement dans les premières phases de la conception. Il m'est arrivé d'observer que des concepteurs, ayant à disposition des approches gradients, et d'autres approches globales, préféraient dans certaines situations les approches gradients.

Là encore, des hypothèses explicatives peuvent être avancées dès lors que l'on mène une analyse cheminant entre l'approche OSMO et l'approche SCCO. Ainsi dans le cadre de la vision SCCO on va considérer, non pas l'outil logiciel d'optimisation seul, mais les propriétés du Système constitué par : le concepteur/modélisateur + outil logiciel d'optimisation. Dans ce cadre, et pour une problématique telle que la formulation du problème de dimensionnement (trouver les bonnes contraintes, les bons objectifs avec leurs limites d'évolution), on argumentera que le comportement de type « continu » de ces algorithmes, et leur temps de réponse rapide, vont aider le concepteur : ils vont lui permettre en faisant des itérations rapides d'augmenter sa connaissances et ses compétences en vue d'arriver à une formulation apte à répondre au besoin.

Dans le cadre SCCO, on peut alors prendre conscience que les outils ont pour vocation de prendre en charge au maximum les aspects compliqués (calculs formels de gradients, programmation automatique, ...) cela dans l'objectif de permettre au concepteur d'avoir le plus de temps possible pour les phases complexes (test des choix et hypothèses pour la construction des modèles, pour la construction des cahiers des charges, ...) [WFC-56], [WFR-22] (cf. la partie « Les concepts d'activité complexes et compliqués en conception » dans la partie IV.b.1).

Question posée	Discrédit dans le cadre d'une approche strictement OSMO	Ré-habilitation dans le cadre de l'approche SCCO
Intérêt d'utiliser des approches analytiques et semi-analytiques ?	Le discrédit des approches analytiques comme résultat d'une approche OSMO stricte dans un cadre épistémologique classique naïf : Raisonner dans un cadre OSMO et une épistémologie classique naïve stricte peut en effet amener à disqualifier les approches analytiques et semi-analytiques au profit des approches numériques avec un cheminement qui pourrait être du type : - Les modèles doivent être déterministes pour représenter fidèlement (ontologiquement) la réalité. - Pour cela il faut une approche qui parte des lois fondamentales de base (principe réductionniste) et qui en déduit le comportement global par une approche mathématique (principe de raison suffisante). - CE SONT ces conditions qui offriront le plus de chances d'aboutir à des modèles définitivement validés expérimentalement sur des prototypes. Avec ce raisonnement, on peut en effet logiquement aboutir à la conclusion que ce sont des approches numériques comme les éléments finis, hautement mathématiques, et partant des lois fondamentales de la physique (en l'occurrence les équations de Maxwell) [COU-85], qui sont cohérentes avec cet idéal visé. Elles	L'intérêt des approches analytiques remise en évidence par l'approche SCCO : Outre la crise d'une interprétation forte de l'épistémologie classique sur laquelle nous ne reviendrons pas, ce raisonnement ci-contre dans un cadre purement OSMO ne prend pas en compte : <i>les dynamiques de création de connaissances et de compétences pour le concepteur</i> Les approches analytiques sont, dans certaines phases et certaines conditions, <u>un savoir, plus facilement intelligible pour l'acteur humain pour créer des connaissances et des compétences</u>, que des approches numériques très mathématiques et « boîte noire » (qui elles, se justifieront dans d'autres phases et d'autres conditions). Ainsi les équations des modèles analytiques vont relier explicitement les grandeurs les unes aux autres (exemple $U=R \cdot I$), alors que ce savoir est implicite dans une approche numérique. Ce savoir explicite va être appropriable par le concepteur modélisateur pour connaître comment les paramètres et les phénomènes interagissent. Il sera ainsi plus facilement en mesure de transformer le savoir en connaissance, puis la connaissance en compétence : il pourra devenir compétent pour décider que s'il n'a pas assez de tension, il peut augmenter la résistance ou l'intensité. Il en va de même des formalismes semi-analytiques comme les réseaux de réluctances, qui en s'appuyant sur des circuits électriques équivalents, offrent une vision intuitive de la façon dans les flux magnétiques s'écoulent dans la structure. De façon réciproque, ces formalismes offrent <u>un support pour transformer des connaissances et des compétences en savoir</u>. Ainsi un concepteur qui connaît le fonctionnement d'un dispositif (par intuition, par savoir-faire, ...), peut utiliser un formalisme comme des réseaux de réluctances, des schémas équivalents, pour traduire cette connaissance en un savoir qui sera une formalisation du fonctionnement macroscopique qu'il perçoit. Tout cela doit être compris dans une logique de complémentarité avec des approches numériques, qui seront utilisables pour offrir des angles de validation ou d'inspiration complémentaires. <i>la problématique d'adaptation du modèle aux contextes et aux objectifs du concepteur dans le projet de conception,</i> L'approche SCCO invite à avoir une vision système intégrant le concepteur/modélisateur, le contexte du projet et le but du projet. Dans ce cadre il apparaît que les approches numériques et analytiques vont être complémentaires, et les approches analytiques acquièrent la même légitimité que les modèles numériques. Simplement les uns et les autres vont répondre à des besoins de concepteurs dans des contextes et des objectifs complémentaires. Ainsi, si le contexte est du pré-dimensionnement, des modèles analytiques peuvent être très adaptés en raison de leur temps de réponse et de leur vision globale compatible avec le fait qu'on a de toute façon pas encore une vue détaillée des objets. Des modèles numériques seront plus adaptés dans des phases de conception fines et précises. <i>En bref, la justification de l'utilisation des modèles analytiques se fait alors en disant :</i> Qu'il faut avoir, comme nous y invite l'approche SCCO, une vision système intégrant le concepteur/modélisateur en complément du savoir, de l'objet à concevoir, des méthodes, des outils, ... Dans le cadre de ce système, les modèles analytiques : vont permettre d'offrir des formalismes, des méthodes et outils pour favoriser cette dynamique de

Tableau V.1 : L'intérêt d'utiliser des modèles analytiques et semi-analytique ou le fait d'utiliser des algorithmes de type gradient
– Discrédit de ces questions dans le cadre OSMO et ré-habilitation dans le cadre SCCO

	mettraient ainsi hors jeu des formalismes analytiques et macroscopiques comme les modèles analytiques à base de schéma équivalents [STEI-97], ou même des approches semi-analytiques comme les réseaux de réluctances [ROT-44], dépassées car s'appuyant sur des hypothèses plus fortes, à des niveaux plus macroscopiques.	création de connaissances et de compétences à partir de savoir, a contrario ils vont permettre au concepteur de générer des savoirs à partir de ces connaissances et de ces compétences. Ils offrent ainsi des outils pour transformer la connaissance tacite en connaissance explicite en reprenant l'axe de progrès de Grundstein; ils sont donc ainsi un capteur de connaissance, ils vont offrir des formalismes pour aider à agir dans des contextes de pré-dimensionnement, d'étude de faisabilité, ... <i>En bref, la nécessité de travailler sur les concepts de générateurs utilisant des formalismes analytiques et semi-analytiques se fait alors en disant :</i> Les dynamiques évoquées précédemment vont être itératives, ou récursives (selon le concept introduit par les sciences de la complexité). D'où l'intérêt d'outils générateurs analytiques et semi-analytiques, qui en gérant le compliqué (programmation automatique, mise en forme mathématique optimale par calcul du gradient, mise en forme informatique par conditionnement sous forme de composant logiciel, ...) vont libérer le maximum de temps pour que le concepteur puisse : gérer le complexe (choix des hypothèses, des topologies, ...) multiplier les itérations : hypothèses – calcul- optimisation, qui vont permettre récursivement d'affiner ces choix et ces hypothèses tout en augmentant ces connaissances et compétences (appropriation du problème). D'où d'ailleurs une conséquence importante identifiable dans le cadre SCCO: il ne faut jamais oublier que ces outils générateurs apportent la méthode, permettent de générer des savoirs, mais ils ne sont jamais porteurs des connaissances et des compétences, ainsi que l'illustre une approche telle que les réseaux de réluctances qui demandent une connaissance et une compétence pour avoir une intuition à priori du fonctionnement du dispositif et être ainsi en mesure de proposer des topologies de modèles réluctants aptes à rendre compte du fonctionnement du dispositif. L'intérêt de l'outil est qu'il va faciliter la vie de l'utilisateur pour créer, puis affiner cette connaissance et cette compétence, mais l'outil n'en sera pas le porteur, il en sera simplement le catalyseur. Pour clore cette justification de l'utilisation des approches analytiques, on pourra se reporter aussi en complément à [WFC-3] qui est un plaidoyer pour une intégration des modèles analytiques et numériques et [WFC-32] qui invite à une réinterprétation de la nature des modèles grâce au passage d'une vision classique à une vision constructiviste pour notamment re-légitimer les approches analytiques.
Re-légitimation des travaux utilisant des algorithmes de type gradient et de l'effort de produire les gradients formellement exacts	Le discrédit des approches gradient comme résultat d'une approche OSMO stricte dans un cadre épistémologique classique naïf : Raisonnement dans un cadre OSMO est une épistémologie classique naïve stricte peut en effet amener à disqualifier les approches de type gradient, car il peut apparaître très vite qu'elles ne satisfont pas aux critères ontologique et déterministe idéaux. En effet, une application stricte de	L'intérêt des approches gradient dans le cadre SCCO : Pour réhabiliter les approches gradients face à ce type de raisonnement, on peut déjà commencer par rappeler la crise de cette interprétation forte de l'épistémologie classique naïve, et de son rêve des algorithmes absolus, crise confirmée par un certain nombre de théorèmes fondamentaux : - à commencer par le théorème de Gödel, qui prouve qu'il ne peut exister de systèmes formels, et donc d'algorithmes consistants et complets, aptes à répondre en un temps fini sur des problèmes ayant au moins besoin de l'ensemble des entiers naturel pour compter [GOD-89], ce qui correspond à nos problèmes d'ingénierie. - on peut citer aussi un théorème plus récent et spécifique aux algorithmes d'optimisation qui est le « No Free Lunch Theorem » [WOL-97]. Ce théorème établit que sur l'ensemble de tous les problèmes d'optimisation, il n'existe pas d'algorithme absolument meilleur. Ces théorèmes, en relativisant le rêve de l'algorithme absolu, nous aident à comprendre que même d'un

Tableau V.1 : L'intérêt d'utiliser des modèles analytiques et semi-analytique ou le fait d'utiliser des algorithmes de type gradient
– Discrédit de ces questions dans le cadre OSMO et ré-habilitation dans le cadre SCCO

	l'épistémologie classique naïve peut consister à vouloir chercher l'algorithme consistant (qui ne se contredit jamais) et complet (capable de donner tous les résultats): il s'agirait ainsi de l'algorithme ultime, déterministe et ontologique (capable de donner la vérité intrinsèque) et absolue. Or la non consistance des algorithmes de type gradient est flagrante : pour deux points de départ différents, ils peuvent trouver des solutions différentes. De même leur non complétude est flagrante : ils ne sont capables de donner que des vérités locales.	point de vue formel (purement OSMO), toutes les approches ont leurs avantages et leurs limites: - ainsi les approches stochastiques et heuristiques de type algorithmes génétiques [GOL-94], ont des capacités à s'extraire des optimums locaux, et sont de ce point de vue plus complets (plus aptes à donner un aperçu complet de l'espace des solutions). Par contre, n'oublions pas qu'elles acquièrent ce plus de « complétude » au détriment du déterminisme. Donc en s'approchant d'un critère d'idéalité classique naïve (la complétude), on s'éloigne d'un autre (le déterminisme). - les approches de type optimisation déterministes globales, comme celle utilisant le calcul d'intervalle [MES-97], très séduisantes et utiles par leur capacité à trouver de façon déterministe un optimum global, ont comme limite de ne pouvoir traiter que des formules algébriques explicites, d'avoir un coût qui augmentent très vite au delà d'une dizaine de paramètres et de contraintes, ... alors que les approches gradients, qui peuvent être piégées par des optima locaux, savent en contrepartie gérer des problèmes avec des équations implicites et des problèmes avec plusieurs dizaines de contraintes et de paramètres ... Mais au delà de ces discussions sur les propriétés des algorithmes en eux-mêmes, qui vont aboutir à la conclusion que tous ces algorithmes sont complémentaires et non concurrents [WFR-15], [WFC-33], je voudrais insister ici sur un certain nombre d'arguments qui montrent des intérêts des approches purement gradients (type SQP) que l'on ne peut percevoir que dans le cadre d'une vision SCCO, qui invite à considérer non pas l'outil logiciel d'optimisation seul avec ses seules propriétés, mais les propriétés du Système le concepteur/modélisateur + outil logiciel d'optimisation. Ainsi une problématique pour laquelle notre retour d'expérience nous a montré qu'ils étaient efficaces est la formulation du problème d'optimisation. Il s'agit d'une problématique, pour laquelle, si l'on intègre le concepteur/modélisateur, les propriétés idéales de l'algorithme ne sont plus celles de l'algorithme pris seul. Ainsi dans ce cas - Le contexte sera souvent une étude de faisabilité - L'objectif sera de voir s'il existe au moins un problème solvable, donc au moins un cahier avec au moins une solution (question en cohérence avec l'approche I-D, identifiable avec une approche SCCO, ignoré dans une approche OSMO qui considère le cahier des charges comme une donnée). Il s'agit donc d'une phase avec beaucoup d'incertitudes, et l'objectif ne sera pas de fournir une solution avec une précision maximale, et qui soit un optimum global, mais plutôt que le concepteur modélisateur arrive à discerner rapidement ce qui est faisable, de ce qui ne l'est pas, pour arriver à formuler son cahier des charges. Dans ce cadre, les algorithmes de type gradient sont très intéressants pour les raisons suivantes: - Ce sont des algorithmes a temps de réponse rapide, donc grâce auxquels le concepteur pourra multiplier les tentatives d'essais erreurs, - Ce sont des algorithmes à comportement facilement interprétable et appréhendable qui permettent d'interpréter la sensibilité par rapport aux variations de formulation des contraintes, des cahiers des charges, des compromis, ... Même leurs limites (fait d'avoir une vision locale) peut être comprise et admise par le concepteur : c'est assez intuitif, appréhendable. Par ailleurs il s'établit, une complémentarité entre l'algorithme et le concepteur/modélisateur : au concepteur d'avoir la hauteur de vue pour sortir des pièges locaux, à l'algorithme de dire en gérant le compliqué (plusieurs dizaines de paramètres et de contraintes) qu'elle est la solution locale (le fait
--	--	---

Tableau V.1 : L'intérêt d'utiliser des modèles analytiques et semi-analytique ou le fait d'utiliser des algorithmes de type gradient
– Discrédit de ces questions dans le cadre OSMO et ré-habilitation dans le cadre SCCO

qu'elle soit simplement locale et non globale est tout à fait secondaire lorsqu'il s'agit de savoir si le cahier des charges est déjà, simplement, faisable).

A contrario, le bruit des algorithmes stochastiques, va rendre plus difficile la détection de cette sensibilité (il sera donc plus difficile pour l'acteur humain de construire sa conviction pour décider dans quelle direction faire évoluer l'ensemble des contraintes pour arriver à un premier cahier des charges faisable).

En fait, il s'agit d'arriver à une formulation du problème qui soit satisfaisant (au sens « Satisficing » de Simon, concept que nous avons introduit dans la partie précédente).

Ainsi, pour illustrer cela, issu de nos recherches, on peut citer l'extrait suivant issu de [MAG-04] page 48:

Induction dans le circuit magnétique (T)

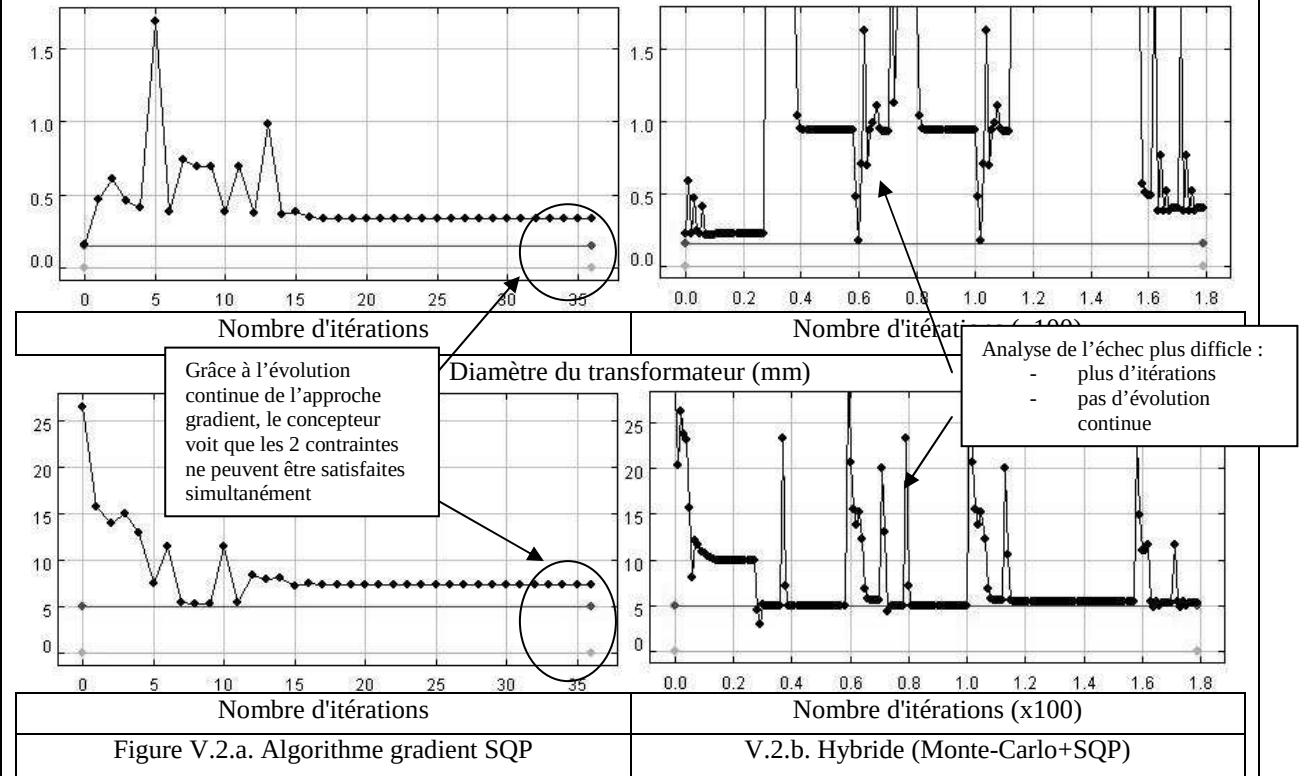


Figure V.2. Evolution des paramètres d'un transformateur au cours des essais successifs de deux méthodes d'optimisation différentes pour un même cahier des charges (issu de [MAG-04])

« Les courbes ci-dessous (Figure V.2) montrent l'évolution des valeurs de certains paramètres lors du

		dimensionnement d'un transformateur de mesure de courant de format torique, le trait continu indiquant la valeur finale à atteindre. Ce dimensionnement a été réalisé à l'aide de deux méthodes d'optimisation différentes, ayant toutes deux échoué au cours de l'essai présenté ici. L'une d'elle est l'algorithme VF13 (méthode SQP, [HAR-87]), tandis que l'autre est un algorithme hybride produit par nos soins, qui associe une méthode de Monte-Carlo permettant de fournir des points de départ aléatoires à l'algorithme VF13. Si il est aisé de s'apercevoir, pour la première méthode (Figure V.2-a), que l'échec est probablement dû à des contraintes contradictoires concernant le diamètre du transformateur et le champ admissible dans son circuit magnétique, cela n'apparaît pas clairement pour la seconde (Figure V.2-b). Pourtant, on constate bien expérimentalement que lorsqu'une de ces deux contraintes est suffisamment relâchée, l'optimisation réussit. » On en arrive donc à la conclusion : - qu'un couplage algorithme d'optimisation stochastique + optimisation mixte est certes plus efficace, en théorie, mais dans un contexte qui suppose que le problème d'optimisation soit bien posé ! - dans un contexte où le problème n'est pas encore bien posé, donc dans un contexte où il faut prendre en compte le concepteur/modélisateur avec la nécessité dans laquelle il se trouve de devoir monter en connaissances et compétences pour arriver à bien poser le problème (approche I-D), un algorithme déterministe est ici plus efficace. Ceci non seulement parce que son comportement, comme ci-dessus est clairement explicitable, en cas d'échec, mais aussi parce que cet algorithme a un temps de réponse très rapide permettant de multiplier les essais – erreurs. Cela montre un type de situation où l'algorithme gradient se justifie dans un système intégrant le concepteur/modélisateur. Pour clore cette discussion, il faut encore justifier le fait de fournir le gradient - Rappelons d'abord que des algorithmes gradients utilisés avec des gradients approximatifs (typiquement par différences finies) ne sont pas performants [RAM-73]. - Rappelons enfin que s'il existe des approches globales, du type algorithmes génétiques qui peuvent se passer de l'information du gradient, cela va se payer par un plus grand nombre d'itérations et de tâtonnements. Il vaut mieux dès lors fournir l'information du gradient dès qu'on le peut. En bref, le fait de prendre en charge cet aspect hautement compliqué qu'est le fait de fournir le gradient à chaque fois que cela est possible, ne peut que contribuer à rendre les optimisations plus rapides et plus robustes. Le modélisateur/concepteur sera ainsi dans les meilleures conditions possibles pour accomplir sa tâche complexe de formulation du problème.
--	--	--

Tableau V.1 : L'intérêt d'utiliser des modèles analytiques et semi-analytique ou le fait d'utiliser des algorithmes de type gradient
– Discredit de ces questions dans le cadre OSMO et ré-habilitation dans le cadre SCCO

V.b.2 Perspectives nouvelles autours des frameworks, plates-formes et outils pour le dimensionnement dans le cadre SCCO

V.b.2.a Etudier, comprendre, susciter la synergie entre les méthodes et outils logiciels (point de vue OSMO) et les connaissances et compétences (point de vue SCCO)

Le point de vue SCCO permet un re-positionnement et permet de donner des statuts et des rôles aux méthodes et outils qui n'étaient pas identifiables dans une vision purement OSMO, ceci étant vrai pour les outils en général, et ceux que nous avons développés et présentés dans le chapitre II en particulier (générateurs – composants – optimiseurs). Ceci est plus particulièrement illustré dans le tableau V.2°.

<i>Des outils pour les concepteurs</i>	Rappelons que nos ambitions initiales, dans les travaux présentés dans la partie II, étaient de faire des outils rendant l'optimisation accessible aux concepteurs du génie électriques non informaticiens. C'est un objectif qui en lui-même intègre une vision système au sens SCCO, puisqu'on considère déjà le système intégrant le concepteur/modélisateur avec dans le cadre de cette vision système un présupposé : le concepteur n'a pas à être un informaticien, ni même un spécialiste des méthodes d'optimisation.
<i>Les optimiseurs: Des outils qui aident à développer les connaissances et compétences pour arriver à formuler le problème</i>	Comme le montre le développement autour de la figure V.2, l'optimiseur dans le cadre SCCO, devient plus qu'un outil devant trouver une solution à un cahier des charges bien posé. Il est aussi, et souvent, l'outil qui aide à trouver au moins un cahier des charges faisable en permettant au concepteur d'essayer des choix, des hypothèses. De plus, par analyse des résultats des cahiers des charges concluants, mais aussi, et peut-être surtout en échec, le concepteur va affiner ses connaissances et ses compétences sur le problème à résoudre. Ce point rejoint l'approche I-D où la conception est vue tout autant, voire peut-être plus, comme une problématique consistant à bien poser le problème, plutôt qu'à simplement le résoudre. La problématique de conception de filtres pour application ADSL que nous avons menée dans les thèses de D. Magot et de D.Duret est illustrative de cela. Dans ce domaine, il arrive que le cahier des charges issu des nombreuses normes et contraintes imposées par tous les intervenants du marché ne soient pas toutes et simultanément réalisables dans les limites de prix demandés. Dans ce cas le problème de conception n'est plus du tout de trouver une solution optimale à un cahier des charges bien posé, mais à arriver à proposer des cahiers des charges dégradés qui restent acceptables pour les donneurs d'ordre. L'avantage sera donc à celui qui arrive à développer le plus vite possible des connaissances et des compétences pour proposer des cahiers des charges modifiés admettant une solution. Nous nous emploierons pour les années à venir à montrer que cet exemple n'est pas anecdotique, mais est représentatif, d'une partie très importante de l'activité de conception en génie électrique, que nous ne voyons pas avec le prisme d'une conception vue comme la résolution d'un problème bien posé.
<i>Les ensembles générateur - composants - optimiseur: Des outils qui permettent de créer des connaissances et des compétences à partir du savoir</i>	Comme l'ont déjà montré les développements précédents, le cadre SCCO permet de donner à l'ensemble générateur – composant – optimiseur un rôle d'outil qui aide le concepteur à construire ses connaissances et ses compétences. Là encore un objectif pour les années à venir pourrait consister à chercher à quantifier plus précisément ces dimensions, au-delà du raisonnement qualitatif que nous venons de tenir ici.

Tableau V.2 : L'approche SCCO – Un cadre qui permet de comprendre la synergie entre les méthodes et outils et les connaissances et compétences

V.b.2.b Etudier, comprendre, susciter la synergie entre les nouvelles architectures et frameworks utilisant des composants logiciels et les organisations et communautés

L'approche SCCO permet de rendre pertinente une recherche sur des organisations autour des méthodes et outils, en faisant des organisations une dimension d'étude (comme l'approche OSMO fait des savoirs, des méthodes, des outils des objets d'étude). Ceci peut se généraliser à toutes les méthodes et à tous les outils (pensons par exemple aux environnements de simulation et d'analyse numérique : Flux [FLU], Amesim [AME], Mathlab/Simulink [MAT], ...). En effet, si ces outils et méthodes se sont imposés, cela tient sans doute autant à la qualité intrinsèque de ces outils et de ces méthodes, qu'à la constitution de communautés de gens connaissant et compétents qui se sont fédérés et organisés autour d'eux : communautés de concepteurs de moteurs électriques et d'actionneurs autour de Flux, communautés des spécialistes des systèmes d'injection automobiles pour des outils tels qu'Amesim, communautés de la simulation temps réel autour de Mathlab/Simulink/Dspace ...

Ainsi le tableau V.3° détaille un certain nombre de recherche qui, même si nous avons commencé à les développer, restent de larges perspectives de recherches pour les années à venir autour du concept d'organisation autour des frameworks et des architectures à base de composants logiciels. Nous développons particulièrement les points suivants :

- Les organisations et plates-formes que l'on peut envisager pour différents types de connaissances et de compétences et créer ainsi des communautés de pratique [WEN-02] : La communauté des concepteurs de générateurs de composants et d'applications, et de modèles métiers, la communauté des concepteurs de normes de composants logiciels, la communauté des concepteurs travaillant autour de services de type méthodes de calcul système, d'optimisation, ...)
- De nouvelles organisations intra et inter-entreprises rendues possibles grâce au framework et aux approches composants. En effet, avec ce qui vient d'être décrit, on voit se profiler de nouvelles organisations pour la conception et le calcul. Mais au-delà, ces recherches peuvent contribuer à la réflexion pour de nouvelles relations intra et interentreprises intégrant les métiers de la conception et du calcul

Tous ces champs possibles justifient le développement de notre framework expérimental CADES (voir II.b.3.a Structuration de la dernière génération de plate-forme proposée –CADES : un framework générateurs – composants logiciels – services), et permet ainsi notre implication dans des projets du type ASPIC¹⁴ au sein du cluster GOSPI¹⁵ qui regroupe des chercheurs sur la conception, les systèmes d'informations, les organisations et l'économie. Nous avons là, la perspective de réfléchir à ces questions pour imaginer les environnements de conception du futur avec une dimension organisation. Nous avons d'autant plus d'atouts pour le faire que nous pouvons nous appuyer sur une communauté de connaissances et de compétences du génie électrique (cf. le G2ELAB, cf. SEEDS, cf. nos contacts industriels) ce qui permettra aussi de réfléchir à de nouvelles organisations, via les vecteurs évoqués précédemment, de connaissances et de savoirs entre le monde industriel et le monde universitaire.

L'élément contextuel qui rend cette recherche sur la création de communauté d'organisation pertinente et crédible est l'émergence d'Internet qui est un vecteur à notre disposition pour créer, susciter et maintenir ces communautés et organisations.

¹⁴ : voir glossaire

¹⁵ : voir glossaire

Organisations et communautés autour des concepts de composants logiciels standardisés et de framework	L'intérêt des approches à base de composants et des propositions de framework que nous faisons est dans la partie II (II.b.3 Vers une approche de plate-forme à base de composants logiciels) est qu'ils offrent un paradigme nouveau pour créer des organisations et des communautés. Ces approches sont par essence destinées à être fédératrices de larges communautés. Elles s'appuient en effet sur des standards ouverts et inter-opérables, permettant de créer des composants logiciels standardisés et normalisés. Elles peuvent ainsi offrir des objets intermédiaires puissants [JEA-98], capables d'être fédérateurs au-delà des communautés déjà constituées autour de solutions propriétaires d'environnements de calcul et de modélisation pré-existants. Cette approche est en effet un vecteur fédérateur complémentaire permettant l'inter-opérabilité des applications métiers (encapsulées en composants logiciels), et des environnements métiers (qui peuvent produire des composants ou en intégrer), en complément de l'approche à présent plus classique consistant à échanger des fichiers sous forme de langages normalisés comme Modelica [TIL-01] ou VHDL-AMS [VHDL]), qui elle-même a déjà suscité la création de communautés structurées autour de ces langages. Des organisations et des plates-formes pour différents types de connaissances et de compétences On peut s'adresser à la mise en relation des compétences des différents métiers (électronique de puissance, actionneurs, micro-systèmes, mécanique, thermique, ...) pour plusieurs niveaux de communautés utilisant à chaque fois des plates-formes communes : - <u>La communauté des concepteurs de générateurs de composants et d'applications métiers</u> : il s'agit de relier les gens ayant les savoirs, connaissances et compétences permettant de générer des modèles pour des composants et des applications métier. Il va s'agir des formalismes analytiques, semi-analytiques, ou numériques. - <u>La communauté des concepteurs de normes de composants logiciels</u> : il s'agit de relier les personnes qui ont les compétences pour faire évoluer les normes de composants logiciels, en utilisant l'état de l'art informatique. - <u>La communauté des concepteurs travaillant sur les services</u> : il s'agit des communautés de personnes travaillant autour des méthodes de calcul système, d'optimisation Ces communautés vont échanger des savoirs qui seront des méthodes, des algorithmes, ... De nouvelles organisations intra et inter-entreprises rendues possibles grâce au framework et aux approches composants Avec ce qui vient d'être décrit, on voit se profiler de nouvelles organisations pour la conception et le calcul. Mais au-delà, ces recherches peuvent contribuer à la réflexion pour de nouvelles relations intra et interentreprises intégrant les métiers de la conception et du calcul. L'architecture a été pensée pour permettre cette dimension qui reste maintenant à être déployée concrètement au niveau : - <u>Intra-entreprises utilisateurs de framework</u> : A ce niveau, on peut imaginer que chaque métier ait ses propres générateurs de composants métiers, qui seront mis à disposition des autres métiers dans des plates-formes du type précédent. La conception des composants et des systèmes repartira de ces composants, et l'organisation doit favoriser la mise en relation des métiers de composants avec les métiers utilisateurs lorsque cela est nécessaire pour une conception globale et inter-métiers. - <u>Inter-entreprises utilisateurs de framework</u> : On peut tout à fait imaginer le schéma précédent pour des relations inter-entreprises, entre fournisseurs et intégrateurs de composants dans des industries modulaires comme l'automobile ou l'aéronautique. On peut imaginer que les fournisseurs mettent à disposition de leur donneur d'ordre les modèles de composants sous forme de composants logiciels et d'applications métiers. Ce partage se fera à nouveau via des plates-formes qui doivent permettre de mettre en relation directement les acteurs des bureaux d'études, lorsque ce sera nécessaire. Cela peut changer radicalement les relations entre donneurs d'ordre et équipementiers en : - permettant des processus de conception répartis entre l'intégrateur et le donneur d'ordre - en intégrant directement les métiers du calcul et de la conception dans ces relations inter-entreprises. Toutes ces possibilités s'ouvrent avec toutes les questions d'organisation qu'elles vont susciter : la propriété intellectuelle des composants ainsi échangés, les problèmes de rétribution, de responsabilité résultant de l'utilisation, les nouveaux rapports
---	--

Tableau V.3 : L'approche SCCO – Un cadre qui invite à s'intéresser aux organisations autour des concepts de composants logiciels et de frameworks

	économiques... - <u>Entre éditeurs de framework et utilisateurs de frameworks</u> : Avec ce qui précède nous avons évoqué les rapports entre utilisateurs de composants. Mais cela peut aussi changer les modèles pour les éditeurs de logiciels, qui ne vendront plus simplement des environnements logiciels, mais pourront percevoir des revenus sur les composants logiciels générés avec leurs environnements, ou créeront une activité avec des composants disponibles en ligne et rétribués à l'utilisation (rappelons que les composants ont vocation à être utilisés de façon distribuée via des architectures de type SOA (Service Object Architecture) et des serveurs de composants en ligne). En bref, se dessine la perspective de nouvelles organisations que nous devons au moins anticiper, voire susciter car elles sont des candidates pour être nos futurs systèmes (au sens système SCCO) de calcul et de conception.
--	---

V.b.2.c Etudier, comprendre, susciter les organisations et communautés pour l'ingénierie de la connaissance : capitalisation et échanges de modèles

L'approche SCCO permet de rendre pertinente une recherche sur des organisations ayant pour vocation d'apporter une contribution au problème de disponibilité des modèles, ce qui est crucial notamment pour alimenter notre framework pour le dimensionnement et l'analyse système. C'est pourquoi nous avons travaillé, dans le cadre des travaux de A. Chandoul [CHA-04] et S. Aysegul [AYS-06] sur des plates-formes qui doivent permettre de :

- capitaliser et d'échanger les savoirs que sont les modèles paramétrés en mécanique pour le dimensionnement,
- réfléchir à des organisations permettant de mettre en relation les connaissances et compétences ayant produit ces savoirs.

Ces travaux s'inspirent du modèle de Nonaka et Takeuchi [NON-95] (voir tableau IV.5°) qui est ainsi remis dans ce contexte de capitalisation et d'échange de savoirs et de connaissances pour l'ingénierie et du dimensionnement des composants et des systèmes. Dans ce cadre l'objet de connaissance, ou savoir, sur lequel on s'est focalisé, est le modèle mathématique et physique des composants du génie électrique. L'enjeu est de réfléchir à la capitalisation et la réutilisation de ces modèles d'une application à une autre, surtout pour être capable de constituer rapidement le modèle d'un système en réutilisant au maximum des modèles de composants préexistants : c'est une problématique qui se pose typiquement lorsqu'on passe du composant au système en automobile [SAR-06], en aéronautique, dans le bâtiment, ... Grâce à ce modèle, nous avons pris conscience qu'il était tout aussi fondamental d'assurer l'échange des modèles (les savoirs), que d'assurer un moyen d'échanger les connaissances tacites autour de ces modèles : Ces connaissances tacites concernent des hypothèses, des savoirs, des limites, ... que le concepteur d'un modèle n'a jamais complètement formalisé, ne serait-ce que parce qu'il n'a jamais imaginé tous les contextes possibles dans lesquels son modèle sera employé.

C'est pourquoi il a été imaginé le concept de plate-forme Internet, dans laquelle ces modèles étaient d'abord capitalisés et échangés sous forme informatique, ce qui reste de l'échange de savoir classique. Pour cela on met en place une base de données dont l'entité de base est le modèle d'un composant ou d'un système. Pour chacun de ces modèles on peut stocker des fichiers qui sont les fichiers des composants informatiques ou des documents expliquant les hypothèses, les cas d'applications, les équations, ... de chaque modèle. Il faut bien sûr un système de navigation permettant d'explorer ces bases de données et permettant de faire des recherches pour retrouver les modèles en fonction de mots clés.

Mais la réelle innovation, est que ces plates-formes proposent aussi des organisations pour mettre en relation les connaissances et les compétences ayant produit les savoirs que sont ces modèles sous forme de composants logiciels. Pour cela elles visent à offrir à terme la possibilité de savoir quel est l'auteur qui a mis le modèle à disposition. Elle vise ensuite à offrir les moyens, sous forme d'outils de visio-conférence par exemple, qui vont permettre de contacter l'auteur du modèle de sorte à offrir un mécanisme d'échange de connaissances tacites par socialisation : les connaissances sont échangées de façon informelle par du conseil, des explications, ...

Dans le cadre de ces plates-formes, il est aussi envisagé d'utiliser des outils comme des forums, ou des wikis [AYS-06] pour créer une dynamique qui soit de l'ordre de ce que Grundstein appelle l'axe de progrès (voir tableau IV.5°). L'idée est que l'utilisateur d'un modèle, puisse poser des questions à la personne, connaissante et compétente qui a produit le modèle. Ce jeu de questions – réponses va permettre de formaliser du tacite entre le sujet « connaissant » qui a produit le modèle et le sujet qui essaie de réutiliser le modèle, suscitant ainsi une dynamique dans le cadre d'une organisation dont on puisse espérer qu'elle aide à

transformer l'implicite en explicite. Dans cette organisation, c'est le fournisseur du modèle qui est le modérateur du forum, du wiki ou du blog autour de son modèle.

En bref, avec les hypothèses précédentes, il devient alors de notre ressort de réfléchir aux objets que sont des plates-formes (en terme d'outil et de système d'information), mais aussi en terme d'organisations et de communautés de pratiques [WEN-02] qui ont vocation :

- à gérer les individus qui sont support de connaissances, et en particulier de connaissances tacites et implicites,
- à gérer des compétences, elles aussi portées par des individus, qui ont la capacité à utiliser les connaissances en situation, pour agir et atteindre de nouveaux objectifs,

Le tableau V.4° re-détaille cet aspect dans la rubrique « **Organisation et communautés pour la capitalisation et l'échange de modèles** ». Il donne un exemple de projet, intitulé DIMOCODE¹⁶ qui a été lancé pour mettre en œuvre les réflexions précédentes.

¹⁶ : voir la partie glossaire et aussi Contrats&Projet dans Transfert technologique, relations industrielles et valorisation

Organisation et communautés pour la capitalisation et l'échange de modèles – Une nouvelle approche de l'ingénierie de la connaissance	Pour apporter une contribution au problème de disponibilité des modèles, ce qui est un problème crucial d'ingénierie de la connaissance, notamment pour alimenter notre framework pour le dimensionnement et l'analyse système, nous avons travaillé, dans le cadre des travaux de A. Chandoul [CHA-04] et S. Aysegul [AYS-06] sur des plates formes qui doivent permettre de : - capitaliser et d'échanger les savoirs que sont les modèles paramétrés en mécanique pour le dimensionnement, - de réfléchir à des organisations permettant de mettre en relation les connaissances et compétences ayant produit ces savoirs Dans ce cadre l'objet de connaissance, ou savoir, sur lequel on s'est focalisé, est le modèle mathématique et physique des composants du génie électrique (voir figure I.3). L'enjeu est de réfléchir à la capitalisation et la réutilisation de ces modèles d'une application à une autre, surtout pour être capable de constituer rapidement le modèle d'un système en réutilisant au maximum des modèles de composants préexistants : c'est une problématique qui se pose typiquement lorsqu'on passe du composant au système en automobile [SAR-06], en aéronautique, dans le bâtiment, ... Grâce au modèle de Nonaka et Takeuchi [NON-95] (voir tableau IV.5°), nous avons pris conscience qu'il était tout aussi fondamental d'assurer l'échange des modèles (les savoirs), que d'assurer un moyen d'échanger <u>les connaissances tacites</u> autour de ces modèles : Ces connaissances tacites concernent des hypothèses, des savoirs, des limites, ... que le concepteur d'un modèle n'a jamais complètement formalisé, ne serait-ce parce qu'il n'a jamais imaginé tous les contextes possibles dans lesquels son modèle sera employé. C'est pourquoi il a été imaginé le concept de plate-forme Internet avec les objectifs suivants - Des plates-formes avec des échanges classiques de savoir sous forme de données informatiques : Pour cela on met en place une base de données dont l'entité de base est le modèle d'un composant ou d'un système. Pour chacun de ces modèles on peut stocker des fichiers qui sont les fichiers des composants informatiques ou des documents expliquant les hypothèses, les cas d'applications, les équations, ... de chaque modèle. Il faut bien sur un système de navigation permettant d'explorer ces bases de données et permettant de faire des recherches pour retrouver les modèles en fonction de mots clefs. - Des plates-formes avec une proposition d'organisation pour mettre en relation les connaissances et les compétences – Mise en œuvre du modèle de Nonaka et Takeuchi : La réelle innovation, est en effet que ces plates-formes proposent aussi des organisations pour mettre en relations les connaissances et les compétences ayant produit les savoirs que sont ces modèles mis sous forme informatique. Pour cela elles visent à offrir à terme la possibilité de savoir quel est l'auteur qui mis le modèle a disposition. Elle vise ensuite à offrir les moyens, sous forme d'outils de visio-conférence par exemple, qui vont permettre de contacter l'auteur du modèle de sorte à offrir un mécanisme d'échange de connaissance tacite par socialisation : les connaissances sont échangées de façon informelle par du conseil, des explications, ... - Des plates-formes avec une proposition d'organisation pour favoriser la transformation des connaissances et les compétences en savoir – Mise en œuvre de l'axe de progrès de Grundstein : Dans le cadre de ces plates-formes, il est aussi envisagé d'utiliser des outils comme des forums, ou des wikis [AYS-06] pour créer une dynamique qui soit de l'ordre de ce que Grundstein appelle l'axe de progrès. L'idée est que l'utilisateur d'un modèle, puisse poser des questions à la personne (la connaissance qui a produit le modèle). Ce jeu de questions – réponses va permettre de formaliser du tacite entre le sujet « connaissant » qui a produit le modèle et le sujet qui essaie de réutiliser le modèle, suscitant ainsi une dynamique dans le cadre d'une organisation dont on puisse espérer qu'elle aide à transformer l'implicite en explicite. Dans cette organisation, c'est le fournisseur du modèle qui est le modérateur du forum, du wiki ou du blog autour de son modèle. - En bref : de la capitalisation des savoirs vers la gestion de l'organisation des connaissances et des compétences : En bref, avec les hypothèses précédentes, il devient alors de notre ressort de réfléchir aux objets que sont des plates-formes (en terme d'outil et de système d'information), mais aussi en terme d'organisation qui ont vocation : - à gérer les individus qui sont support de connaissance, et en particulier de la connaissance tacite et implicite, - à gérer des compétences, elles aussi portées par des individus et qui sont la capacité à utiliser les connaissances en situation, pour agir et atteindre de nouveaux objectifs, Grâce aux travaux déjà réalisés (travaux de Master de S. Aysegul et A. Chandoul, participation aux projets IPI Icône et OCAPI), les hypothèses et les
---	--

Tableau V.4: L'approche SCCO – Un cadre qui invite à s'intéresser aux organisations pour une nouvelle approche de l'ingénierie de la connaissance

- stratégies qui en résultent sont donc claires, mais reste à présent à travailler sur de nombreux aspects tels que :
- améliorer la forme et le contenu des modèles et la façon dont ils sont intégrés dans les composants logiciels
 - améliorer les méta-informations qu'on met autour des modèles : fichiers d'explication, formalisation des hypothèses, ...
 - réfléchir aux structures précises des systèmes d'informations
 - continuer la réflexion sur les organisations permettant de favoriser la transformation des connaissances et compétences dans les savoirs portés par les composants logiciels et les méta-informations qui gravitent autour d'eux
 - continuer la réflexion autour des organisations permettant de mettre en relation directement les connaissances et compétences pour faire un échanges par socialisation de connaissances et de compétences (semi-formel par des outils tels que des forums de discussion ou des chats, informel en pouvant créer des réunions en distanciel voire même en présentiel entre les concepteurs),
 - Mettre en usage ces plates-formes dans des communautés qui peuvent être le G2ELAB, la communauté française du génie électrique via SEEDS. Ces plates-formes pourront ainsi être les vecteurs d'échanges de savoirs pour la simulation et l'analyse système en mécatronique, avec une dimension intra-universitaire et une dimension extra-universitaire vers les entreprises.

Toutes ces questions et interrogations font notamment l'objet du projet DIMOCODE (Diffusion par Internet de Modèles pour la Conception Optimale de dispositifs Electromécanique). La figure suivante donne un aperçu de ce projet financé par le Programme Inter - Disciplinaire énergie du CNRS.

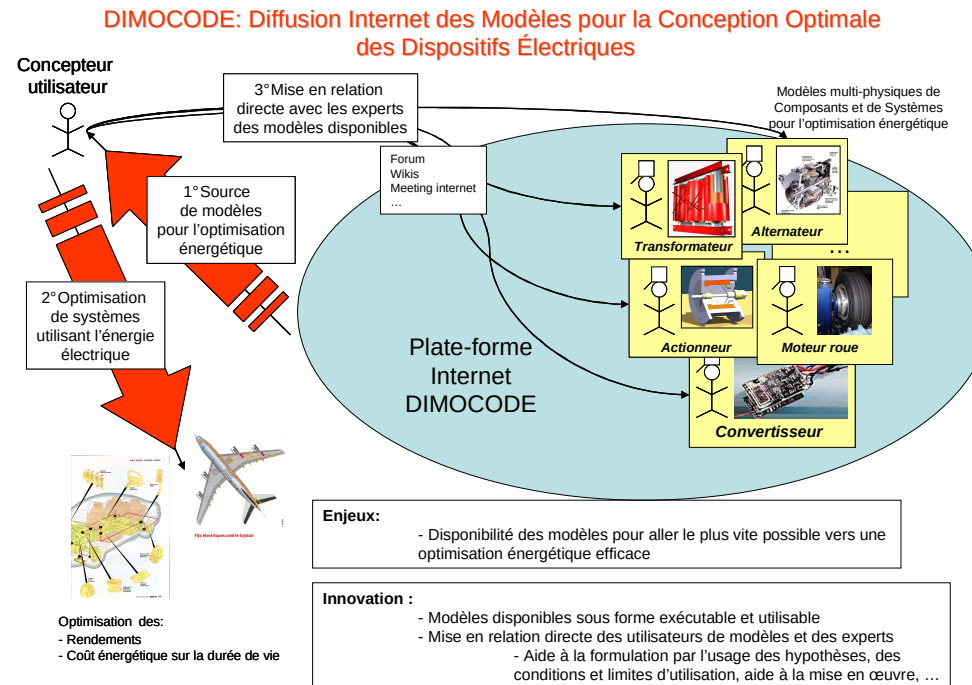


Figure V.3. DIMOCODE : un exemple de projet de plate-forme Internet pour la capitalisation de modèles – Exemple de projet mariant une réflexion sur une plate-forme et la nécessaire organisation entre concepteurs à mettre en place « autour »

V.c Travaux en rupture et possibles uniquement dans un cadre SCCO

La partie qui précède présente des travaux, autour des frameworks et de problématiques d'ingénierie de la connaissance qui ont, dans l'approche SCCO de nouvelles légitimations et perspectives, mais qui avaient déjà un certain ancrage dans une approche OSMO.

Nous allons à présent nous focaliser sur d'autres travaux qui ont été réalisés, et que seul le cadre SCCO peut rendre légitimes et possibles dans toutes leurs dimensions. Il s'agit d'abord de travaux sur la conception collaborative.

V.c.1 Travaux sur la conception collaborative

Contexte des travaux

Le contexte, qui a suscité les recherches sur la conception collaborative est le fait que l'on pouvait profiter de la montée en puissance d'Internet, pour faire collaborer à distance des concepteurs ayant des compétences complémentaires. Pour ces travaux, nous nous sommes associés de longue date avec l'équipe Conception Intégrée du laboratoire de mécanique 3S (intégré à présent dans le laboratoire G-SCOP), pour voir comment ce contexte permettait d'imaginer de nouveaux processus de conception.

But des travaux

Nous nous sommes plus particulièrement focalisés sur le dimensionnement et l'optimisation collaborative à distance pouvant regrouper des concepteurs du génie mécanique et du génie électrique.

De notre point de vue, la question était notamment de savoir si le framework (générateurs – composants –services, voir partie « II.b.3 Vers une approche de plate-forme à base de composants logiciels »), imaginé dans un cadre mono acteur pouvait trouver une extension répartie et multi-métiers. La question paraît d'autant plus pertinente, que le dimensionnement en particulier, et la conception en général, de dispositifs du génie électrique fait intervenir de plus en plus de compétences. Cela est le cas pour les structures électromécaniques classiques, mais cela devient encore plus vrai pour des structures intégrées comme les micro-systèmes ou même la conception de réseaux de bord automobile ou d'aviation.

La question consiste dès lors à imaginer de nouvelles méthodes et de nouveaux outils, mais aussi l'organisation associée. Concernant le dimensionnement par optimisation, ce problème se pose à 3 niveaux :

- la co-construction du modèle de dimensionnement,
- la co-construction du cahier des charges commun,
- la co-analyse des résultats de dimensionnement en commun.

Ces travaux autant par les objets d'études (les méthodes et outils, mais aussi l'organisation), et les approches mises en œuvre (notamment l'observation des concepteurs en situations de conception que nous allons détailler) ne trouvent donc leur pleine légitimité que dans le cadre d'une approche SCCO.

Cette recherche est plus particulièrement détaillée dans le tableau V°.4.

Une approche du problème par observation des concepteurs en situation	Mise en situation par immersion des chercheurs comme acteurs : Nous avons d’abord mené une série d’expériences dans lesquelles, en tant que chercheurs-acteur, nous avons cherché à concevoir et à dimensionner le déclencheur en travaillant à distance. J’ai directement participé à une telle démarche [WFR 10]. Des chercheurs ayant travaillé sur ces questions, comme A. Belaïdi et I. Ammar ont repris cette démarche [BEL-05], [AMA-07].	Mise en situation avec des chercheurs observateurs Dans le cadre d’un projet (le projet COSMOCE financé par la région Rhône Alpes et qui a été un consortium multidisciplinaire sur la conception synchrone à distance en ingénierie), nous avons mis en place des expériences dans lesquelles nous avons mis des groupes d’étudiants en situation de conception, et en particulier de dimensionnement à distance du déclencheur. Ces concepteurs ont été filmés ce qui a permis de réaliser ce qu’on appelle dans le domaine des sciences cognitives un corpus, un savoir un ensemble de vidéos et de traces écrites et audio montrant l’activité des concepteurs. Ces expériences ont été menées sur deux ans. 3 groupes d’étudiants collaboraient : un groupe d’étudiants apportant la compétence électrique, un autre groupe la compétence mécanique et un troisième la compétence de mise en fabrication. Les films issus de l’activité de chaque groupe de chercheurs (cf. photo de gauche sur la figure V.3), ont été synchronisées (cf. photo de droite sur la figure V.4) avec une quatrième vue montrant l’activité sur l’écran partagé à distance par les 3 groupes. Ces expériences nous ont permis d’être des observateurs externes du processus de conception.  Figure V.4: Expérience de conception collaborative d’un actionneur électromécanique – Ces expériences sont filmées et analysées dans le cadre du projet COSMOCE en vue de spécifier de nouvelles méthodes et outils supportant la conception collaborative		
Les analyses menées sur les observations des concepteurs	Grâce aux deux expériences précédemment détaillées, nous avons fait, ou participé à deux types d’analyses. <table><tr><td> Une analyse macroscopique : Celle-ci s’est focalisée sur l’activité de dimensionnement. Elle a montré que pour réaliser le dimensionnement collaboratif à distance, les concepteurs avaient le choix entre 2 stratégies : 1° La stratégie séparée : c’est la stratégie qui consiste à séparer le problème global de dimensionnement en sous problèmes que les équipes pouvaient résoudre </td><td> Une analyse microscopique : L’analyse microscopique se focalise sur un niveau d’activité plus fin que le niveau macroscopique, au sens où l’on s’intéresse aux activités et aux interactions de base entre les concepteurs perceptibles dans toutes les phases de la conception : le choix de structure, le dimensionnement, la revue de projet, ... Ce travail a été mené, sur la base des vidéos du corpus des expériences, par des chercheurs des sciences cognitives pour comprendre les micro-activités (laboratoire ICAR – Lyon) en collaboration le laboratoire 3S et notre participation. Ainsi, a été construite une grille de </td></tr></table>		Une analyse macroscopique : Celle-ci s’est focalisée sur l’activité de dimensionnement. Elle a montré que pour réaliser le dimensionnement collaboratif à distance, les concepteurs avaient le choix entre 2 stratégies : 1° La stratégie séparée : c’est la stratégie qui consiste à séparer le problème global de dimensionnement en sous problèmes que les équipes pouvaient résoudre	Une analyse microscopique : L’analyse microscopique se focalise sur un niveau d’activité plus fin que le niveau macroscopique, au sens où l’on s’intéresse aux activités et aux interactions de base entre les concepteurs perceptibles dans toutes les phases de la conception : le choix de structure, le dimensionnement, la revue de projet, ... Ce travail a été mené, sur la base des vidéos du corpus des expériences, par des chercheurs des sciences cognitives pour comprendre les micro-activités (laboratoire ICAR – Lyon) en collaboration le laboratoire 3S et notre participation. Ainsi, a été construite une grille de
Une analyse macroscopique : Celle-ci s’est focalisée sur l’activité de dimensionnement. Elle a montré que pour réaliser le dimensionnement collaboratif à distance, les concepteurs avaient le choix entre 2 stratégies : 1° La stratégie séparée : c’est la stratégie qui consiste à séparer le problème global de dimensionnement en sous problèmes que les équipes pouvaient résoudre	Une analyse microscopique : L’analyse microscopique se focalise sur un niveau d’activité plus fin que le niveau macroscopique, au sens où l’on s’intéresse aux activités et aux interactions de base entre les concepteurs perceptibles dans toutes les phases de la conception : le choix de structure, le dimensionnement, la revue de projet, ... Ce travail a été mené, sur la base des vidéos du corpus des expériences, par des chercheurs des sciences cognitives pour comprendre les micro-activités (laboratoire ICAR – Lyon) en collaboration le laboratoire 3S et notre participation. Ainsi, a été construite une grille de			

Tableau V.4 : Travaux sur la conception collaboratives – Des travaux de ruptures qui dans l'approche et les objets étudiés ne trouvent leur justification que dans le cadre SCCO

en situation	isolément, pour ensuite mettre en commun leur résultat de dimensionnement. Typiquement le déclencheur qui était l'objet de la conception dans ces expériences contenait un ressort et un circuit magnétique avec une bobine et un aimant. Dans le cadre de cette stratégie, le groupe de mécaniciens concevait le ressort, le groupe d'électricien concevait, le circuit magnétique, puis les concepteurs « assemblent » les 2 pièces et vérifient que le cahier des charges est satisfait. Cette solution nécessite cependant un certain nombre d'itérations avant de converger. 2° La stratégie intégrée : cette stratégie consiste à construire en commun le modèle du dispositif, à concevoir ensemble le cahier des charges et à utiliser un seul optimiseur qui résout le problème global de conception	micro-activité comprenant les activités de [MET-06]: - synchronisation cognitive, c'est-à-dire l'activité d'explication nécessaire pour que les concepteurs ait un espace de connaissances et de représentation commun, concept aussi développé dans [RUI-05] dans un contexte de conception en ingénierie mécanique - propositions d'exigences, c'est à dire l'activité de formulation de contraintes - propositions de solutions, - recherche de ressources, c'est-à-dire une activité déclenchée lorsque les concepteurs n'ont pas les savoirs, connaissances ou compétences - évaluation, c'est-à-dire une activité permettant d'éliminer ou de retenir les solutions proposées - Gestion de projet - Gestion de la coordination et de la communication Il a été montré que ces activités permettaient un codage du corpus c'est-à-dire permettait à chaque instant de dire que la micro-activité du concepteur intervenant était l'une de ces micro-activités.
Des résultats montrant l'intérêt des prises en compte des dynamiques portées par les concepteurs	Il n'est pas possible d'entrer ici dans tous le détail de ces travaux et de leur résultats. On va insister sur un certain nombre d'entre eux, qui sont vraiment le résultat de cette analyse des concepteurs en situation : Tout d'abord cela a permis de voir que la stratégie intégrée a du mal à émerger en pratique. Or ce résultat n'était pas nécessairement prévisible dans une vision OSMO, rationalisante et mathématisée, dans laquelle on se doit de penser que la stratégie intégrée est nécessairement la meilleure. En effet elle permet de faire une optimisation globale, et non une optimisation partie par partie, moins « sûre », puisque l'optimum du système n'est pas égal à l'optimum des parties prises isolément.Or ce raisonnement purement mathématique ne permet d'expliquer ce qu'on observe en réalité. C'est le cadre SCCO, qui nous permet d'avancer des hypothèses quant à l'explication de ce résultat: -On peut évoquer le coût de l'activité de synchronisation cognitive identifié au niveau microscopique : pour arriver à construire le modèle commun, ou un cahier des charges commun, les concepteurs doivent construire un espace de connaissances commun. Ceci a un coût dont il faut tenir compte, et qu'il faut certainement contribuer à réduire si on veut favoriser l'émergence de la stratégie intégrée. - Les observations nous ont aussi amené à penser que la stratégie intégrée a trop peu émergé par manque d'organisation . Ceci montre la nécessité d'une réflexion sur l'organisation autour des méthodes et outils, en attribuant notamment des rôles aux différents concepteurs. - ... En tout cas ces réflexions, avec d'autres, nous ont par la suite aidé à spécifier, dans la thèse de I. Ammar, les méthodes et les organisations, à mettre autour d'un outil expérimental appelé COSTO (Collaborative Specification Tool) pour favoriser un dimensionnement collaboratif plus efficace. - notamment a été conçu dans COSTO un glossaire partagé, permettant de définir la signification des variables partagées, pour faciliter la synchronisation cognitive - COSTO doit être accompagné par la mise en place d'une organisation de travail avec un chef d'orchestre dans les phases de construction du modèle et du cahier des charges - COSTO offre des modules créer pour co-négocier le cahier des charges en gérant des aspects compliqués comme trouver les contraintes incompatibles, proposer automatiquement des jeux de contraintes qui sont des unions ou des intersections des contraintes non cohérentes, ... Ainsi ces outils sont là pour gérer les aspects compliquées en espérant soulager la charge cognitive des concepteurs. Outre les références relatives à la thèse d'I. Ammar [AMA-07], [WFC-53], [WFC-57], [WFC-59], [WFC-62], les références traitant de ces travaux sont : [WFR-10] (Revue dans le domaine des sciences de l'organisation), [WFC-24] et [WFC-34] (colloque interdisciplinaire), [WFC-36] (conférence internationale du génie mécanique), [WFC-46], [WFO-03] (qui est un ouvrage réalisé par la communauté du génie mécanique).	

Tableau V.4 : Travaux sur la conception collaboratives – Des travaux de ruptures qui dans l'approche et les objets étudiés ne trouvent leur justification que dans le cadre SCCO

V.d Nouvelles perspectives de recherches à développer dans le cadre SCCO

Nous finirons ce chapitre sur de nouvelles conceptions de la conception, dont l'investigation et l'appropriation sont de réelles perspectives, à la fois nouvelles et originales pour le génie électrique, tout en étant possibles et imaginables que dans le cadre d'une approche SCCO. Il s'agit d'approches intégrant l'acteur humain, soit en tant que concepteur pour des approches d'aide à la conception innovante, soit en tant qu'utilisateur pour des approches de la conception dites « par l'usage ».

V.d.1 Passer de l'innovation formelle à l'innovation de rupture

L'un des enjeux majeurs de la conception est l'innovation. Or une pleine approche de cette problématique n'est concevable que dans un cadre SCCO. Ceci doit permettre, comme cela est synthétisé dans le tableau V.5° de passer de l'innovation formelle à l'innovation de rupture. Comme cela y est détaillé, l'innovation formelle est celle qui est possible en utilisant des outils logiciels comme ceux de l'optimisation. L'innovation de rupture est celle qui sort du cadre des connaissances formelles disponibles à un moment donnée, et ne peut émerger que dans le cadre d'organisation, s'appuyant des concepteurs porteurs de connaissances et de compétences qui sauront passer le cadre des connaissances disponibles à un instant donné.

Pour passer de l'innovation formelle	Les méthodes d'optimisation mises en œuvre dans les frameworks générateurs – composant – logiciels, ou même plus généralement dans les outils de l'approche OSMO de type optimisation offrent des moyens pour aborder un type d'innovation que je qualifierai d'innovation formelle. Elles permettent de trouver des solutions que les experts ne voient pas en raison de leur rationalité limitée, de leurs habitudes, mais qui existent déjà quelque part dans la structure du savoir qu'ils sont en mesure de construire. En effet un expert peut être parfaitement capable de construire des modèles extrêmement compliqués, comportant beaucoup de paramètres et de contraintes. Mais au moment du dimensionnement, s'il n'a pas d'outil ad'hoc, il appliquera des stratégies de décomposition du problème, souvent dictées par l'habitude. Il risque ainsi de trouver des solutions sub-optimales en vertu du principe que dans un système, l'optimum du système n'est pas égal à l'optimum des parties prises isolément, ratant ainsi les solutions optimales qui existent pourtant dans l'espace formel qu'il est capable de construire. Or les approches par optimisation, par leur capacité à gérer un plus grand nombre de paramètres et de contraintes que ce que ne peut réaliser cet expert, vont être capable de lui identifier ces solutions, qui peuvent être innovantes pour lui. Ainsi, nous est-il arrivé d'obtenir avec une approche d'optimisation (le logiciel PASCOSMA voir partie II), des dimensions de moteurs tout à fait innovantes chez un industriel partenaire, simplement parce que nous avons optimisé simultanément les tôles magnétiques et le bobinage. Le système a alors trouvé une solution originale, qui d'un point de vue coût était plus intéressante que la solution habituelle résultant d'un premier dimensionnement optimal des tôles, puis d'un dimensionnement par suite des bobines. L'innovation formelle est donc : - une solution autorisée par le savoir formel disponible (typiquement les modèles physiques et mathématiques dont dispose le concepteur), - mais qui n'a pas encore été identifiée par les concepteurs, parce-que toutes les combinaisons de ce savoir disponible n'ont pas été explorées. C'est donc une innovation qui est rendue possible grâce aux méthodes et outils apportés par l'approche OSMO. Elle n'est néanmoins complètement compréhensible que dans une vision SCCO, qui permet de proposer un cadre tentant de cerner quelle est la part et la place respective des acteurs, des méthodes et des outils. Ainsi dans ce cadre, les ressources apportées par les acteurs humains sont : - leurs capacités à construire des espaces formels explorables par des méthodes et algorithmes en faisant pour cela des choix, des hypothèses avec toujours une part de risques, d'erreurs, - leur capacité à exprimer leurs besoins sous formes de contraintes, de fonctions objectives avec là encore des choix et des décisions, transformant ainsi le problème de base mal posé en une suite de problème bien posé, pour être au mieux résolu, au moins explorés. Les outils interviennent ensuite pour explorer les espaces formels ainsi construits en intervenant comme des amplificateurs rationnels pour le concepteur, capables de faire à son service des explorations rigoureuses et cohérentes en gérant simultanément un plus grand nombre de paramètres et de contraintes que ce qu'il ne peut faire avec ses capacités cognitives. Nous nous attacherons à continuer à fournir les méthodes et outils pour susciter ce type d'innovation, et nous nous attacherons à montrer que cela peut correspondre à des aides à l'innovation dans le génie électrique où il s'agit de plus en plus de créer des systèmes, ce qui signifie que l'on a de plus en plus de degrés de libertés pour avoir des compromis systèmes, au moins intéressants, voire innovants.
A l'innovation de rupture	Néanmoins, les phénomènes d'innovation les plus radicaux résultent du fait de sortir du cadre formel établi connu à un instant donné. La théorie C-K [HAT-03] peut constituer une théorie explicative de cela : il faut à un moment donné dépasser le cadre de l'espace K des connaissances connues, pour imaginer de nouveaux concepts qui sont des disjonctions, des ruptures logiques avec le cadre des savoirs ou connaissances établies à un instant donnée. En complément de la théorie C-K, il faut intégrer des concepts psychologiques portés par les acteurs humains pour comprendre comment ces disjonctions se produisent. Il est dès lors possible de proposer des mécanismes d'analyse et d'explications des innovations de rupture, et par suite de proposer des stratégies effectives, au sens où elles ne fonctionneront pas systématiquement, mais dont on peut espérer qu'elles susciteront et favoriseront l'innovation dans un certain nombre de cas. Dans cette perspective, des méthodes proposant et organisant des stratégies existent déjà. On peut citer l'approche TRIZ [CAV-TI] pour des phases d'innovation sur des composants et des systèmes qui existent déjà. Triz est une démarche basée sur :

Tableau V.5 : L'approche SCCO doit permettre une pleine appréhension de l'innovation en permettant de passer de l'innovation formelle à l'innovation de rupture 142

	- l'analyse fonctionnelle offrant une stratégie de formulation des fonctions et des problèmes la plus indépendante possible de la structure de départ - des propositions des stratégies génériques, issues d'analyse de millions de brevets pour résoudre les problèmes : - d'identification des paramètres clefs de la conception (masse, longueur, puissance, ...) - des principes d'innovation clef lorsqu'on veut par exemple résoudre des compromis contradictoires entre ces paramètres clefs (augmenter par exemple la rigidité tout en diminuant le poids). - une mise en œuvre dans des outils (voir CreaTRIZ¹⁷ ou le logiciel GoldFire)¹⁸ qui illustrent comment ces principes ont été mis en œuvre dans d'autres domaines que l'application de base. Nous n'entrerons pas ici dans le détail de la description de cette approche pour laquelle [CAV-TI] constituera une excellente entrée en matière. Nous retiendrons simplement que c'est une approche qui: - intègre pleinement l'analyse des comportements psychologiques des concepteurs. Ainsi en passant par une formulation fonctionnelle, l'amenant à formuler ses besoins sous forme de problèmes génériques résolus par des principes génériques, le tout illustré dans d'autres domaines que le domaine d'origine de l'application, elle espère rompre chez ce concepteur les dynamiques d'inertie psychologique. Rappelons que ce sont ces dynamiques qui le font revenir naturellement aux solutions qu'il connaît déjà. Elle espère aussi susciter l'innovation en favorisant chez le concepteur le raisonnement par analogie. - a autant pour objet d'aider le concepteur à trouver une solution qu'à trouver la formulation de quel est son problème en l'incitant à formuler ou reformuler ce problème. Ainsi une des étapes de l'approche est la formulation du RIF - le « Résultat Idéal Final » - qui peut être un dispositif complètement théorique (sans poids, sans volume, ...), mais qui va définir les objectifs de la conception. Ainsi, avec ce type d'approche, la ressource principale de la conception est le concepteur. Si l'approche TRIZ semble plutôt adaptée pour les dispositifs existants déjà, qu'il s'agit de faire évoluer, ou sur lesquels il s'agit de résoudre de problèmes de conception, il existe tout un ensemble d'autres approches pour aider à susciter l'innovation dans des problèmes encore plus ouverts. Il s'agit là encore d'approches essayant de faire appel à des ressources et des dynamiques portées par les concepteurs, l'intuition, la maturation psychologique [JOK-02]. Il s'agit aussi des approches visant à maîtriser les brainstormings, les approches créatives ... qui veillent à mettre en place des stratégies au niveau des groupes pour réduire les risques de comportement de groupe potentiellement nuisibles à l'innovation : - désinhiber le fait de s'exprimer en groupe, - créer des phases où toute critique des solutions est proscrite (ce qui est une tendance naturelle) pour laisser émerger toutes les idées, y compris les plus farfelues, car parmi elles se trouvera peut-être la bonne idée, sortant du cadre des habitudes, voire des connaissances établies à un instant - en expliquant que la phase de créativité et de foisonnement est raisonnable et souhaitable dans la mesure où la phase d'élimination, et de rationalisation toujours nécessaire sera une phase ultérieure. Au-delà encore, il s'agit pour le génie électrique de s'intégrer à une réflexion organisationnelle pour l'innovation: quels types d'organisation devons-nous créer, ou devons-nous intégrer, pour que les concepteurs porteurs des connaissances et compétences issues du génie électrique arrivent à s'organiser, pour contribuer aux efforts d'innovation radicale dans lesquelles on peut avoir besoin des ressources qu'ils constituent. Il s'agit ainsi de s'approprier et de s'intégrer dans l'« innovation à l'ère des réseaux » [CHR-04]. En bref toutes ces approches pour l'innovation ont en commun : - d'être dans le cadre SCCO, en faisant des acteurs et des organisations, les ressources essentielles pour l'innovation, - de devoir être adaptées au génie électrique comme nous le faisons dans la thèse d'E. Dezille¹⁹ lorsqu'il s'agit de faire de la conception innovante autour de déclencheurs électriques en mettant en œuvre l'approche TRIZ.
--	--

¹⁷ : voir le site <http://www.knowllence.com>

¹⁸ <http://www.invention-machine.com>

	Après une phase d'appropriation, peut-être s'agira-t-il de les modifier, de les adapter pour certaines problématiques du génie électrique. Ainsi la méthode TRIZ est plutôt adaptée pour la conception de systèmes physiques analogiques sans prise en compte des aspects numériques et informatiques de plus en plus incontournables dans nos systèmes du génie électrique. Elle semble plus adaptée pour la conception de systèmes mécaniques, hydrauliques ou de capteurs, mais peu pour la conception de systèmes de distribution et de conversion électrique : s'agit-il d'une réalité, que peut-on faire pour corriger ce problème ou ce qui n'est peut être qu'une apparence ?
--	---

¹⁹ : Voir la partie Encadrement de travaux de thèses

V.d.2 Recherche sur les méthodes de conception par l'usage

Les approches précédentes proposent de nouvelles conceptions de la conception en intégrant les acteurs humains que sont les concepteurs.

Une approche complémentaire est d'intégrer dans la conception les acteurs humains que sont les utilisateurs des objets à concevoir.

Cette stratégie est déjà mise en oeuvre dans la thèse d'I. Ammar [AMA-07], puisque la spécification de l'outil COSTO, outil support à l'optimisation collaborative à distance, s'est faite par observation de concepteurs en situation.

Mais la nécessité de ce type d'approche devient à présent impérieuse car, si les concepteurs du génie électrique s'intéressaient avant à des composants et des systèmes destinés à être intégrés dans des systèmes industriels pour d'autres industriels (cf. les moteurs, les actionneurs, les alimentations d'électronique de puissance, ...), nous sommes de plus en plus impliqués dans la conception de produits qui seront directement mis entre les mains d'utilisateurs :

- il peut s'agir de systèmes de management d'énergie dans le bâtiment, comme le projet Multisol²⁰ (voir Figure V.5) où il s'agit d'imaginer des systèmes intelligents, de type optimiseur, intégrés dans les bâtiments, pour gérer les charges du bâtiment (type chauffage, machine à laver, ...) et les sources du bâtiment internes (réseau, panneaux photovoltaïques, éoliennes, des co-générateurs, ...) pour au bout du compte aller vers le bâtiment minimisant sa consommation électrique, voir aller vers des bâtiments à énergie positive capable de réinjecter de la puissance dans le réseau.
- les projets dans l'éclairage pour les bâtiments

...

Dans tous ces projets, il faudra intégrer l'utilisateur pour :

- prendre en compte ses habitudes
- susciter chez lui de nouveaux comportements vertueux en terme de consommation d'énergie
- éviter de concevoir des systèmes trop complexes qui risquent de ne pas être adaptés, et par suite pas adoptés
- être une source d'innovation : ainsi en observant des usagers en situation, dans des cuisines, des bâtiments, ... cela peut permettre de voir à quelles situations et besoins pratiques ils sont confrontés. Cela peut ainsi aider à formuler les bons problèmes à résoudre, les bonnes applications à créer et susciter des innovations émergeant des usages. On propose ainsi une nouvelle stratégie d'innovation qui va des usages, vers ensuite les savoirs et savoir-faire scientifiques et techniques qui vont permettre de réaliser (ou pas !) ces idées innovantes. On a ainsi une stratégie tout à fait innovante à côté de la stratégie plus classique inverse, qui part des savoirs et savoir-faire classiques pour aller vers les débouchés et applications.

²⁰ : voir la partie glossaire et aussi Contrats&Projet dans Transfert technologique, relations industrielles et valorisation

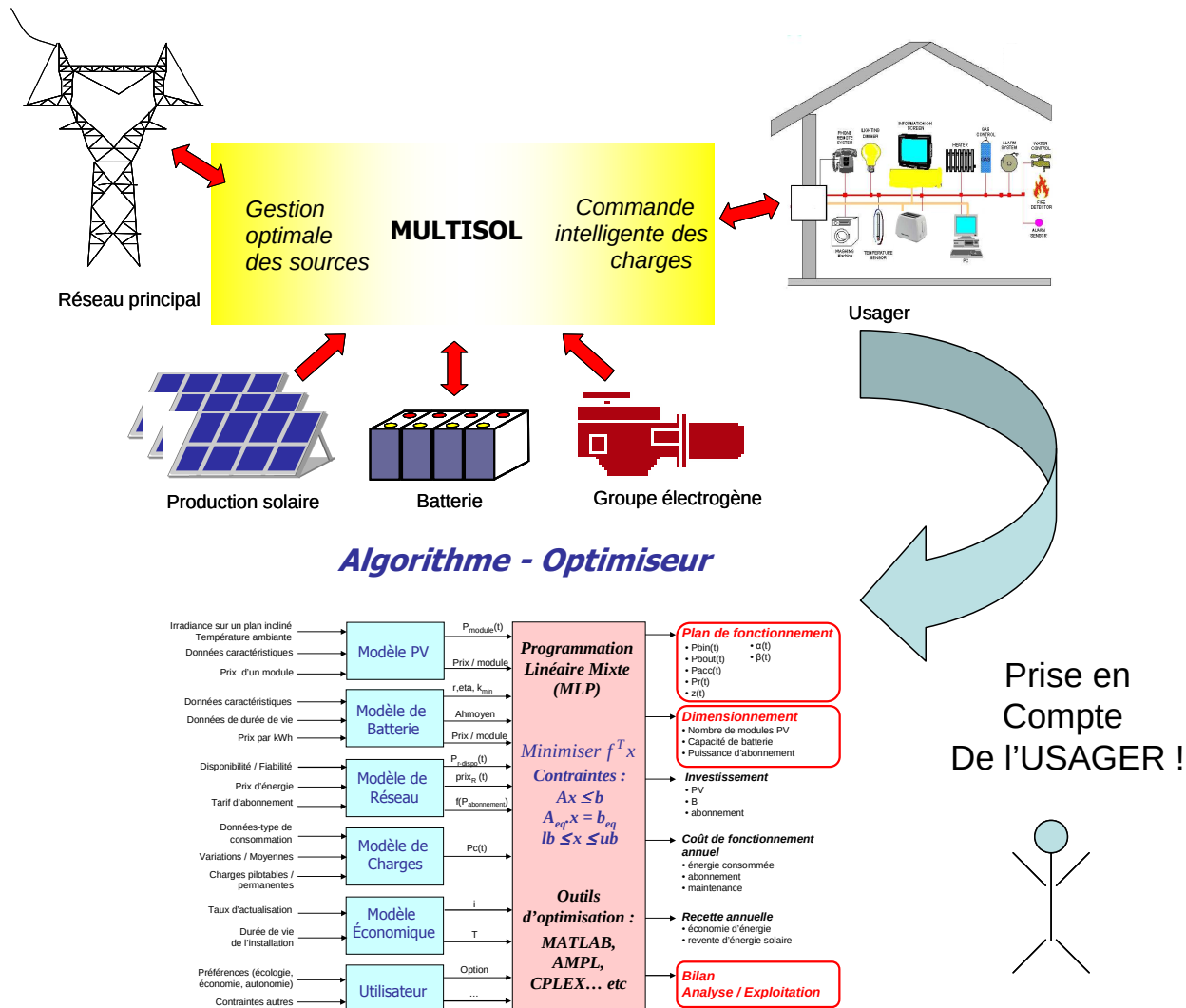


Figure V.5: Le projet MULTISOL : Imaginer des optimiseurs capables de gérer de façon optimale un bâtiment multi-sources d'énergie et multi-charges – Une problématique qui devra passer par une démarche « conception par l'usage »

C'est avec cette démarche, dite de conception par l'usage qu'il faudra aborder aussi la conception dans le génie électrique [MAX-04], [SCH-97]. Il s'agit ni plus ni moins que d'ajouter à coté d'une approche partant des savoirs et de la connaissance, une approche partant des besoins pour à terme les croiser et les faire dialoguer.

V.d.3 Des approches intégrant les ressources apportées par les acteurs humains pour répondre aux enjeux du génie électrique

En bref, les approches de conception innovantes ou par l'usage ne sont pas nouvelles. Elles sont déjà utilisées et explorées dans des domaines comme l'architecture, l'informatique, voire le génie mécanique. Mais elles constituent clairement une frontière nouvelle pour la communauté du génie électrique porteuse des connaissances et compétences scientifiques et techniques de ce domaine. C'est grâce à ces approches que nous trouverons des pistes, des moyens et des stratégies, pour répondre aux enjeux de l'énergie, du transport, du médical ...

Conclusion générale

Les travaux présentés et à venir présentent un double visage pour contribuer à la définition d'une discipline de la conception en ingénierie en général, et pour le génie électrique en particulier.

D'abord les travaux et leurs perspectives, présentés dans le chapitre II et qui s'inscrivent dans l'approche classique OSMO (Objets – Savoirs – Méthodes – Outils) :

Ils visent à fournir des méthodes et outils logiciels pour les phases de pré-dimensionnement et d'études de faisabilité.

Ceci a abouti en la réalisation de plates-formes logicielles pour instrumenter ces phases en utilisant principalement des modèles analytiques et semi-analytiques, que l'on peut programmer et dériver formellement, pour les coupler à des outils d'optimisation.

Outre les méthodes et outils pour atteindre ces objectifs, ceci s'est aussi concrétisé en une réflexion sur les architectures logicielles pour orchestrer cet ensemble de méthodes et d'outils. Cela a abouti à la plate-forme CADES, qui n'est plus une plate-forme logicielle classique, à savoir un logiciel à l'architecture figée et autonome, mais plutôt un framework, c'est-à-dire un ensemble de composants logiciels s'appuyant sur des normes d'interopérabilité et de connectivités, y compris avec des environnements pré-existants via les concepts d'encapsulation et de plug-in. On en arrive donc à un concept d'architecture ouverte et modulaire, et il s'agit là d'un modèle alternatif possible pour les logiciels d'aide à la conception du futur pour aborder les problèmes directs et inverses de multi-physiques, de multi-niveau de modélisation et de composition système. D'ores et déjà, grâce aux nombreuses applications traitées grâce au framework CADES, nous montrons que ces recherches permettent d'avoir des outils effectifs pour traiter des problèmes comme l'optimisation des structures, la comparaison des structures, le dimensionnement et l'optimisation dans le cadre d'une vision système, ... Si, comme nous y travaillons, ces approches pouvaient se standardiser auprès d'un large public d'utilisateurs, de développeurs et d'éditeurs logiciels, cela pourrait créer une nouvelle approche par rapport à la CAO calcul actuelle, constituée d'environnements efficaces, et utiles, mais fermés car non-interopérables.

En bref, les questions scientifiques qui ont ainsi traitées sont :

- la mise en évidence de l'importance des phases de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité
- les méthodes et outils pour les phases de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité : méthodes analytiques et semi-analytiques, traitement numérique, avec notamment les problématiques de dérivation formelle de ces modèles en vue de l'optimisation sur des gammes de type de modèles la plus étendue possibles
- la réflexion sur les architectures logicielles pour la CAO calcul du futur

Ensuite et enfin les travaux et leurs perspectives présentés dans le chapitre V et qui s'inscrivent dans l'approche SCCO (Systèmes – Connaissances – Compétences – Organisation)

Ces travaux sont tous ceux qui s'inscrivent dans une vision nouvelle pour aborder la conception par rapport à une vision type « physique appliquée ». La nouveauté réside dans une approche intégrant l'acteur humain. Nous avons montré que ceci est possible en élargissant l'ensemble des objets d'étude auxquels nous devons nous intéresser, pour y incorporer :

- les Systèmes intégrant les acteurs humains
- les Connaissances portés par les acteurs humains

- les Compétences portés par les acteurs humains
 - les Organisations qui mettent ces acteurs humains en relation
- Ceci permet de faire :
- une relecture des travaux sur les plates-formes et outils logiciels, on y montrant qu'indépendamment des méthodes qu'ils contiennent, ils doivent contribuer à des dynamiques de création de connaissances et de compétences, le tout suscité dans des organisations et des communautés.
 - une ouverture vers des travaux nouveaux comme les travaux sur l'ingénierie collaborative que nous avons déjà abordés ou l'innovation radicale qui reste une perspective.

Outre une synthèse des travaux réalisés et de leurs perspectives dans les cadres OSMO et SCCO, ce manuscrit est l'occasion d'argumenter pourquoi il est probablement nécessaire d'étudier la conception avec ces 2 approches :

Le chapitre III a ainsi montré que le génie électrique s'inscrirait plutôt dans une épistémologie de type classique, qui aurait tendance à faire de cette discipline une discipline de physique appliquée où faire de la science doit se traduire en des savoirs, des méthodes, et des outils objectifs, déterministes et rationalisés. Or on peut argumenter que cette approche de la science, incontestablement nécessaire et incontournable, est cependant en crise si elle est appliquée strictement et rigidement, et ceci que se soit dans les sciences (y compris physique en général), que dans l'étude de l'activité de conception en génie électrique en particulier.

C'est pourquoi le chapitre IV a eu pour objet de montrer que l'approche SCCO ne pouvant se justifier que dans un nouveau cadre épistémologique, proposant de nouvelles hypothèses, méthodes de production et de validation des connaissances. Il s'agit d'une approche constructiviste, faisant des connaissances et de la conception, une approche construite aussi par les concepteurs, plutôt qu'imposée seulement par la nature des dispositifs et des phénomènes qui s'y produisent. Ceci induit un changement formidable sur les méthodes, les objets, et la nature du processus de conception

En bref, ces développements montrent que les travaux que j'ai menés et encadrés essaient de s'inscrire dans une vision large des formes que peut revêtir une activité scientifique qui serait l'étude de l'activité de conception dans un domaine qui est le génie électrique.

Le projet scientifique peut ainsi se synthétiser en disant qu'il s'agit :

- d'avoir d'une part une vision large des Conceptions possibles de la Conception, et de contribuer à les faire évoluer, en s'intéressant au contexte de la conception en génie électrique
- pour d'autre part aboutir à améliorer le processus de conception des dispositifs du génie électrique lui-même en s'intéressant simultanément aux objets d'études que sont :

- les Objets à concevoir
- les Savoirs sur les objets
- les Méthodes permettant d'utiliser les savoirs
- les Outils permettant de mettre en œuvre les Méthodes et les Savoirs
- les Systèmes de conception intégrant les Concepteurs/Modélisateurs
- les Connaissances portées par les Concepteurs/Modélisateurs
- les Compétences portées par les Concepteurs/Modélisateurs
- les Organisations mettant en relations les Concepteurs/Modélisateurs

tout cela devant permettre d'apporter une réponse aux enjeux de conception auxquels est la discipline (production distribution et utilisation optimale de l'énergie, bio-médical, ...)

Perspectives (sous forme d'une feuille de route possible)

L'exercice consiste à présent à clore ce manuscrit par une feuille de route traçant les perspectives des recherches à venir. On s'y soumettra de bonne grâce, en rappeler les limites de cet exercice, qui est finalement un exercice de Conception, soumis aux contraintes complexes inhérentes à cette activité : l'incertitude, le bruit, l'apprentissage récursif, les arbitrages, ... ferons évoluer cette feuille de route, nous amenant à en fermer des branches anticipées, à ouvrir d'autres branches non encore perçues, ...

Il faut donc considérer la feuille de route présentée ci-après comme une feuille de route possible parmi toutes celles rendues possibles par les fondements et concepts développés dans ce manuscrit. On la tiendra simplement pour la plus plausible aujourd'hui, compte tenu des projets en cours (thèses, collaborations, projet de recherches, ...)

Les perspectives à court terme vont plutôt concerner la problématique du dimensionnement et de l'analyse système. L'ambition sera de réfléchir aux nouvelles générations de plates-formes de calcul, de dimensionnement et d'analyse systèmes inter et intra-entreprises. On rappellera simplement ici le Résultat Idéal Final que l'on souhaite atteindre avec cette recherche et qui a déjà été formulé dans la partie II.b.3.f intitulée « Synthèse des apports, enjeux, perspectives et aspects innovants d'une recherche sur des framework à base de composants logiciels » :

Le résultat idéal final auquel nous souhaiterions parvenir est une nouvelle approche de la simulation pour le dimensionnement et l'analyse des systèmes mécatroniques.

Les systèmes mécatroniques, à l'instar d'une automobile, d'un avion, voire même d'un bâtiment sont des systèmes créés par assemblage de composants physiques. Ainsi une automobile va être réalisée par assemblage des systèmes pour la direction assistée, l'injection, le freinage, ... ces mêmes systèmes étant eux-mêmes un assemblage de composants plus basiques (électronique de puissance, actionneur électromécanique, commande ...).

L'idéal auquel nous souhaiterions accéder, est que chacun de ces composants physiques puisse avoir des équivalents logiciels décrit sous forme de composants logiciels standardisés, offrant des services nécessaires pour le calcul, le dimensionnement.

Les différents acteurs gravitant autour doivent pouvoir s'échanger, ou se donner accès au composant logiciel modélisant le composant ou le système physique qu'ils conçoivent ou qu'ils fabriquent: ainsi le fabricant de moteurs donnera accès à son modèle de moteur au fabricant de drive qui lui-même donnera accès à modèle de drive au fabricant de l'automobile.

L'originalité de ce programme de recherche, les verrous à faire sauter, les perspectives et enjeux de recherches à court et moyens terme sont développés dans la partie II.b.3.f. Nous nous contenterons simplement de rappeler que ce programme n'a ni plus ni moins que l'ambition de proposer un nouveau paradigme pour l'approche du calcul en CAO : celui de frameworks logiciels, ouvert et inter-opérable comme alternative à l'approche type « environnement » qui est pré-dominant aujourd'hui.

Ce programme trouvera des développements dans une perspective OSMO :

- les standards de composants aptes à fournir les services standardisés nécessaires pour les besoins du calcul, de la simulation, du dimensionnement, de l'optimisation...
- les générateurs de ces composants logiciels utilisant des formalismes métier pour décrire les savoirs

Mais ce programme trouvera aussi des développements dans une perspective SCCO :

- la capacité à créer des communautés de chercheurs et de développeurs qui adopteront ce paradigme de framework logiciel

- la capacité à fédérer des consortiums d'éditeurs de logiciels, de communautés d'utilisateurs, ...

Il s'agit bien d'une problématique de création de communautés et d'organisation aptes à fédérer des connaissances et compétences comme elle est détaillée dans la partie intitulée « V.b.2.b Etudier, comprendre, susciter la synergie entre les nouvelles architectures et frameworks utilisant des composants logiciels et les organisations et communautés ».

Les perspectives à moyen terme vont concerner la réalisation de plates-formes collaboratives de conception. Une telle plate-forme sera notamment développée dans le cadre du projet DIMOCODE, comme cela est expliqué dans la partie « V.b.2.c Etudier, comprendre, susciter les organisations et communautés pour l'ingénierie de la connaissance : capitalisation et échanges de modèles ». Il s'agit là d'explorer une solution au problème d'ingénierie de la connaissance et de gestion des savoirs.

Ce programme trouvera des développements dans le cadre de l'approche OSMO, car il s'agit de développer une plate-forme Internet pour capitaliser et échanger les savoirs que sont les modèles paramétrés en mécanique pour le dimensionnement

Mais ce programme trouvera avant tout des développements dans le cadre de l'approche SCCO puisque cette plate-forme proposera aussi une organisation pour mettre en relation les connaissances et les compétences ayant produit les savoirs que sont ces modèles sous forme de composants logiciels.

En fait ce projet peut être vu comme le cas particulier d'une recherche plus générale ayant pour objet les nouvelles générations de plates-formes de conception ayant pour ambition la mise en relation des connaissances et des compétences avec les organisations associées.

Les perspectives à long terme vont concerner des problématiques comme :

- La conception innovante,
- la conception par l'usage.

Ces recherches trouveront un terrain particulièrement propice à leur développement dans le cadre des problématiques de gestion d'énergie comme cela est illustré sur la figure V.5.

Glossaire et Signification des Acronymes

ASPIC : Acronyme pour **A**nalyse et **S**tructurisation des **P**ratiques en **I**ngénierie **C**ollaborative C'est un projet de recherche mené dans le cadre du cluster région GOSPI. L'axe 4 de ce projet est intitulé « Plate-forme pour la capitalisation de savoirs, et la mise en réseau d'acteurs ». Je suis responsable de cet axe. L'objectif est de travailler sur des plates formes de travail collaboratif, type Internet, permettant la capitalisation des savoirs pour le calcul assisté par ordinateur en ingénierie. Naturellement, le projet DIMOCODE s'inscrit dans ce cadre de recherche qui fédère des laboratoires du génie électrique, du génie mécanique, de l'ingénierie de la connaissance, des systèmes d'information, ...

Axe de progrès de Grundstein : Stratégie visant à favoriser dans le cadre d'un cercle vertueux, la transformation de connaissance tacite en connaissance explicite dans le cadre du modèle de Nonaka & Takeuchi (voir partie IV.b.2.a et plus particulièrement le tableau IV.5 et la figure IV.8 qu'il contient). Voir aussi dans le glossaire, l'article connaissance.

Application Métier : Ce qu'on appelle application métier est un code de calcul (pour résoudre le problème direct ou le problème inverse) dédiée à un composant ou à un système particulier. Ces applications métiers peuvent notamment « encapsulés » dans des composants logiciels comme cela est évoqué dans la partie II.b.3.d : Quelques concepts utiles autour des composants et des frameworks - Le concept d'encapsulation)

CADES : CADES est l'acronyme de : « Component Architecture for the Design of Engineering Systems ». Il s'agit de la dernière génération de plate-forme que nous avons mises au point pour instrumenter des phases particulières de résolution du problème inverse que sont les phases d'étude de faisabilité, de dimensionnement et de pré-dimensionnement. La vocation de cette plate-forme c'est cependant élargie pour couvrir les missions et explorer les questions scientifiques suivantes :

- une mission de capitalisation et de diffusion de méthodes et d'outils
 - les méthodes pour générer des modèles analytiques et semi-analytiques aptes à fournir des modèles pour les phases de dimensionnement et d'études de faisabilités (voir tableau II.3)
 - les méthodes pour calculer la sensibilité (les dérivées partielles) des modèles analytiques et semi-analytiques (voir tableau II.2)
 - une expérimentation du concept de framework à base de composants logiciels standardisés et inter-opérables (voir partie II.b.3 : Vers une approche de plate-forme à base de composants logiciels), qui soit une solution pour gérer les problèmes :
 - de capitalisation de méthodes et d'outils de calcul
 - d'inter-opérabilité pour gérer les problèmes de composition d'outils de calcul en vue de répondre au problème de multi-physique, de multi-niveaux de modélisation et de passage des outils de calcul de composants à des outils de calcul de systèmes
- Il s'agit ainsi notamment d'explorer si le concept de framework, est un nouveau concept d'architecture pour les outils de résolution de problèmes directs et inverses du futur.

COSMOCE : Projet dont l'acronyme signifie Conception, Outils, Supports, Médias, Organisation pour la Collaboration des Entreprises (voir http://emc.liris.cnrs.fr/cosmoce_site). Voir aussi la partie « Encadrement, animation et management de la recherche - Animation de programmes ou projets »

COG : COG désigne une théorie ou approche de la conception dite approche cognitive dans ce manuscrit. Cette approche est synthétisée dans le tableau IV.2. Cette approche considère que la conception ne peut être vue que comme une suite d'activités portées par des concepteurs en situation, gouvernée par la nécessité de mener l'activité tout en réduisant la charge cognitive : ceci se manifeste par des stratégies de raisonnement par analogie, par l'intuition, ... Cette approche relève donc d'une épistémologie constructiviste

Complexe (& activités complexes) : On désignera par complexe les activités du processus de conception qui, par opposition avec les activités compliquées, ne peuvent être menées que par des acteurs humains et qui sont donc inaccessibles à des ordinateurs. Ces activités utilisent des ressources comme le savoir faire à établir des stratégies, la capacité à donner du sens au fortuit et à l'aléatoire, la capacité à dépasser les cadres rationnels établis à un instant donné, ... Ce point de vue est développé dans « IV.b.1 Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions de la conception », plus

particulièrement dans le paragraphe intitulé « Des concepts permettant de caractériser des activités complexes et compliqués en conception »

Compliqué (& activités compliquées): On désigne par compliqué les activités du processus de conception qui peuvent être menés par un logiciel (un système formel fini) implanté dans un ordinateur. Typiquement il peut s'agir de résoudre un problème direct bien posé de simulation ou un problème inverse bien posé d'optimisation. Dans le point de vue développé dans ce manuscrit, ces activités compliquées supposent toujours des activités complexes qui elles ne peuvent être menées que par les acteurs humains. Typiquement en amont, il va s'agir, entre autres des stratégies qui vont permettre de bien poser le problème. En aval, il va s'agir d'activités comme : interpréter les résultats. Ces aspects sont développés dans « IV.b.1 Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions de la conception », plus particulièrement dans le paragraphe intitulé « Des concepts permettant de caractériser des activités complexes et compliqués en conception ».

C-K : C-K désigne une théorie ou approche de la conception qui est détaillée dans le tableau IV-2. Cette approche [HAT-02a], [HAT-02] modélise la dynamique de conception par un aller retour entre 2 espaces : un espace des concepts (l'espace C) et l'espace des connaissances (l'espace K). L'intérêt de cette théorie est qu'elle donne un statut à des phases de la conception qui se situent hors du cadre d'une logique et d'une rationalité classique (au moins au sens naïf du terme), donc à des phases vraisemblablement réfractaires à une automatisation sous forme logicielle, donc une nécessaire présence de l'acteur humain. Cette approche n'est donc possible dans une épistémologie classique constructiviste autorisant et nécessitant une pleine intégration du concepteur/modélisateur.

Composant logiciels : L'approche composant logiciel est un paradigme nouveau dans le génie logiciel. Il vise à architecturer des codes autour de composants logiciels standardisés, autonomes et inter-opérables. L'objectif est ainsi d'aboutir à des architectures avec des briques logicielles ré-utilisables. Ces aspects sont développés dans « I.b.3.b Un framework s'appuyant sur le concept de composants logiciels ». Les frameworks sont donc des infra-structures logicielles modulaires s'appuyant sur ces concepts de composants logiciels.

Connaissance : Ce manuscrit et les recherches décrites, en s'intéressant à la conception s'intéresse nécessairement aux connaissances nécessaires pour mener à bien les activités de conception. On y invite plus particulièrement à passer :

- d'une conception de la connaissance déterminée uniquement par la nature des objets qu'on cherche à concevoir (donc une connaissance relevant d'une épistémologie classique soumise uniquement aux hypothèses ontologiques et déterministes voir partie « III.b.2.b Les fondements d'une application stricte de l'approche OSMO : l'épistémologie classique naïve », et plus particulièrement le tableau « III.1 Caractérisation de l'épistémologie classique »)
- à une conception de la connaissance dépendant aussi de la perception du concepteur sur l'objet à concevoir dans le cadre du projet qu'il déploie avec les objectifs associés (donc une connaissance relevant d'une épistémologie constructiviste soumise aux hypothèses phénoménologiques et téléologiques, voir partie « IV.a.2 Caractérisation d'un nouveau cadre épistémologique possible: le constructivisme » et plus particulièrement le tableau « IV.1 Caractérisation de l'épistémologie constructiviste ... »).

Ceci amène de nouvelles hypothèses sur la nature de la connaissance comme cela est expliqué dans la partie IV.b.2. La connaissance va se décomposer en :

- une part de connaissance explicite ou savoir, qui peut être formalisée dans les livres, les articles, les logiciels
- une part de connaissance tacite ou implicite, qui ne peut être portée que par le concepteur/modélisateur et qui se manifeste par ce qu'on appelle leur compétence et leur savoir-faire.

Concepteur/modélisateur : C'est un concept utilisé au long de ce manuscrit, introduit notamment par E. Morin [MOR-02], [MOR-77]. La partie IV propose une épistémologie et une vision faisant de la conception de la conception une activité qui ne peut se comprendre, et émerger que dans un système intégrant les concepteurs-modélisateurs. Ces derniers sont en effet porteurs de ressources comme l'intuition, la maturation, la capacité à réagir en situation dont on postule, dans cette approche, qu'elles ne sont pas entièrement projetables dans des formalismes et des règles définis a priori.

DIMOCODE : DIMOCODE est l'acronyme de Diffusion Internet des Modèles pour la Conception Optimale des Dispositifs Electriques. C'est un projet qui est évoqué dans le tableau V.4. C'est un projet qui vise à

développer une plate-forme internet pour la capitalisation des savoirs que sont les modèles de calcul, tout en mettant en relation les concepteurs qui produisent ces savoirs et les concepteurs qui veulent les ré-utiliser. Ceci doit permettre les échanges formels de savoirs, mais aussi les échanges plus informels de connaissances, de compétences qui existent autour de ces savoirs. Ceci va donc nécessiter une réflexion sur l'organisation qui va permettre tout cela. Un tel projet ne peut donc se comprendre que dans une approche SCCO. Disons enfin que ce projet est financé par le programme Inter-Disciplinaire du CNRS, et qu'il implique à la fois des chercheurs de l'axe conception du GDR SEEDS et des chercheurs du projet ASPIC

Encapsulation : Désigne le fait d'intégrer un code de calcul pré-existant, pour résoudre le problème direct et inverse, dans un composant logiciel. Ce concept est détaillé dans « II.b.3.d Quelques concepts utiles autour des composants et des frameworks », plus particulièrement dans la partie intitulée « Le concept d'encapsulation ».

Environnement logiciel : Ce concept désigne l'architecture classique des logiciels de résolution des problèmes directs et inverses dont on dispose actuellement. Ces logiciels ont leurs propres bibliothèques, leurs propres standards. Le concept de framework est une alternative pour ouvrir un autre modèle d'architecture modulaire, ouverte et inter-opérable. Ce point est particulièrement développé dans le paragraphe « II.b.3.f Synthèse des apports, enjeux, perspectives et aspects innovants d'une recherche sur des framework à base de composants logiciels » et plus particulièrement dans la partie intitulée « Le framework : un nouveau paradigme face au paradigme classique d'environnement ».

Épistémologie : Etymologiquement, épistémologie vient du grec « épistémè », signifiant connaissance, et, « logos » signifiant discours. L'épistémologie est donc le discours sur la connaissance, et c'est notamment, l'étude de la constitution des connaissances qui seront jugées comme scientifiquement valables comme cela est détaillée dans la partie « III.b.2.a Caractérisation de l'épistémologie et des épistémologies ». Ce manuscrit montre que différents cadres épistémologiques sont possibles, pour les sciences en général, et pour l'étude de la conception en particulier. Le chapitre III caractérise une épistémologie classique amenant à une approche de la conception privilégiant pour concevoir les Objets, l'étudier des Savoirs, des Méthodes et des Outils (Approche OSMO). Le chapitre IV montre qu'un autre cadre épistémologique est possible. Il permet l'intégration des concepteurs/modélisateurs et la nécessité d'intégrer des objets d'étude comme les Systèmes, les Connaissances, les Compétences et les Organisation (Approche SCCO).

Framework : signifie dans ce manuscrit « architecture à base de composants logiciels ». Ces composants logiciels peuvent avoir été créés avec des langages et des environnements différentes et hétérogènes. Ils peuvent néanmoins être utilisés de façon cohérentes les uns avec les autres, le framework définissant des processus et des connexions standardisées permettant cette utilisation cohérente. Ainsi CADES est un framework (voir partie II.b.3.a).

G2ELAB: Acronyme de Grenoble Génie Électrique Laboratoire. C'est le lieu où les recherches présentées dans ce manuscrit ont été développées. Ce laboratoire s'appelait jusqu'en décembre 2006 LEG pour Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble (voir <http://www.G2ELAB.fr>).

GOSPI: Cluster de la région Rhône Alpes dans la thématique des Organisations et des Systèmes de Production Industrielle (voir <http://www.cluster-gospi.fr>). Ce cluster est une fédération inter-disciplinaire, permettant des projets comme ASPIC, qui offre un support pour d'autres projets comme DIMOCODE. Cette fédération permet un croisement disciplinaire des thématiques conceptions, organisations, connaissances, compétences, ...

G-SCOP: Il s'agit du laboratoire Grenoblois des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production (voir <http://www.g-scop.fr>). Ce laboratoire est un partenaire privilégié pour développer une approche de la conception dans le cadre de l'approche SCCO.

I-D (Approche) : I-D désigne une approche ou conception de la conception que nous définissons dans le tableau IV.2. I-D est l'acronyme pour « Ill Defined » ou « Ill Structured ». Cette approche considère que la principale caractéristique d'un problème de conception est d'être un problème mal structuré et mal posé. Dès lors la conception est principalement l'activité consistant à transformer ce problème initial mal posé en un problème suffisamment bien posé pour pouvoir être résolu [VIS-04], notamment par un système formel implanté dans un ordinateur. On prête donc un rôle fondamental à cette phase négligée par

l'approche SIP, pour en arriver un point de vue inverse à SIP: Formuler le problème de conception est l'enjeu principal de la conception alors que résoudre ce problème ne serait plus qu'une question de technique de résolution. I-D se légitime dans un cadre constructiviste, car c'est le Concepteur/Modélisateur, qui en construisant son problème de conception, va passer d'un problème mal posé à un problème bien posé.

IPI : Institut de la Production et des organisations Industrielles. Il s'agit d'Un réseau de Laboratoires de Recherche dans le domaine des Systèmes de Production et de l'Innovation. Voir : <http://www.msh-alpes.prd.fr/IPI/>

MULTISOL : Multisol est un projet financé par l'ANR dans lequel Schneider Electric et le CEA-INES (Institut National de l'Energie Solaire) sont notamment partenaires. L'objectif est d'y étudier la faisabilité de systèmes de pilotage optimal dans un bâtiment multi-sources d'énergie (photovoltaïque – réseau électrique – batterie). Ce projet est notamment évoqué dans la partie « V.d.2 Recherche sur les méthodes de conception par l'usage ». On y aborde effectivement des problématiques propices à un développement de la conception par l'usage, car il faut ici imaginer des systèmes de pilotage et de gestion optimale, utilisant potentiellement des techniques très sophistiquées. Il convient dès lors d'intégrer, dès que possible, dans les phases de conception cet usager.

Nonaka&Takeuchi (Modèle) : Modèle décrivant le cycle de vie de la connaissance entre individu avec l'hypothèse que cette connaissance comporte deux dimensions : une dimension tacite portée par les individus et une dimension explicite portées par les documents écrits (ou éventuellement logiciels). Voir la partie « IV.b.2.a Un échantillon de concepts novateurs apportés par les nouvelles conceptions pour l'ingénierie de la connaissance » et plus particulièrement le tableau « Tableau IV.5 : Des concepts nécessitant la présence des concepteurs/modélisateurs pour l'ingénierie de la connaissance ».

OSMO : Pour approche « Objets – Savoirs – Méthodes – Outils ». Il s'agit de l'approche de la conception considérée comme classique pour le génie électrique et caractérisée dans le chapitre I de ce manuscrit. La partie III argumente que cette approche relève d'une épistémologie classique, visant à aboutir à des savoirs, des méthodes et des outils déterministes et rationaliste. La partie III, sans remettre en cause la nécessité de cette approche, argumente cependant que cette approche est en crise si elle reste l'approche unique appliquée « trop » strictement.

Problème direct : Ce qu'on désigne par résolution du Problème Direct consiste en la résolution du problème de simulation d'un dispositif, autrement dit, comme cela est rappelé dans le paragraphe I.c.3 : « Pour des caractéristiques données d'une machine (structure, dimensions et conditions d'utilisation), déterminer les performances ».

Problème inverse : Ce qu'on désigne par résolution du Problème Inverse consiste, comme cela est rappelé dans le paragraphe I.c.3 à : « Pour des performances exigées, trouver les caractéristiques d'une machine structure, dimensions et conditions d'utilisation ».

Plug'in : Désigne le fait de pouvoir intégrer un code logiciel dans un code exécutable existant. Ce concept est notamment utilisé dans la partie « II.b.3.d Quelques concepts utiles autour des composants et des frameworks » et plus particulièrement dans la partie « Le concept de connexion de type plug'in ». On y argumente que les composants logiciels sur lesquels s'appuie un framework comme CADES, se prêtent à devenir des plug'in. On ouvre ainsi une voie conceptuelle et techniquement réalisable pour favoriser l'interconnexion des codes de calcul pour résoudre les problèmes directs et inverses. Ceci doit permettre d'offrir une contribution aux problèmes d'inter-connection de code pour des problèmes multi-physiques, multi-niveaux de modélisation et de composition pour aller du composant au système.

Satisfaction (« Satisficing ») : Le concept de « satisficing » et de rationalité limitée est plus particulièrement détaillé dans tableau IV.3, ainsi que dans le paragraphe IV.b.1, dans la partie intitulée « Des concepts nécessitant la présence du concepteur modélisateur : l'exemple du concept de « Satisficing ». C'est un exemple de concept qui ne se légitime que dans une vision SCCO de la conception et un cadre épistémologique de type constructiviste. Il est lié au concept de Rationalité limitée

Savoir : Le savoir est défini dans ce manuscrit par la partie des connaissances qui peut être formalisée dans les livres, les articles, les logiciels, ... Il s'agit donc des connaissances explicitées qui viennent en

complément des connaissances tacites qui sont portées par les individus et qui se manifestent par leur compétence et leur savoir faire. Voir aussi dans le glossaire : savoir-faire et connaissance.

Savoir faire : Le savoir-faire est défini dans ce manuscrit comme les connaissances tacites qui sont portées par les individus et qui se manifestent par leur compétence et leur savoir faire. Ce savoir faire vient en complément du savoir.

SEEDS : SEEDS est le GDR français regroupant les laboratoires français du Génie Electrique. SEEDS est l'acronyme de Systèmes d'Energies Electriques dans leurs Dimensions Sociétales (voir <http://www.seedsresearch.eu/>)

Simon H. : D'un point de vue historique, c'est Herbert Simon qui a largement inspiré et développé les fondements de l'**approche SIP**, en réalisant notamment le premier programme d'intelligence artificielle en 1956 intitulé « Logic Theorist » faisant de la démonstration de théorèmes [CRE-97]. L'approche de Simon se démarque de l'approche optimisation pure et de la **théorie de la décision**, au sens où elle permet l'introduction d'un savoir autre, que le savoir mathématique pur nécessitant l'expression sous formes de fonctions de toutes les alternatives et de l'objectif de maximisation. Simon introduit en effet ce qu'on appelle la programmation heuristique en utilisant le savoir constitué par les règles heuristiques [CRE-97]. Ce savoir heuristique est formulé par des experts et résulte de leurs longues années d'expérience. Doivent ainsi pouvoir se formuler des savoirs permettant de réaliser des activités aussi complexes que l'innovation, ou l'intuition qui pour Simon sont des processus de reconnaissance de forme et de situation que le concepteur a développé au cours de son expérience (cf. [VIS-04] page 89, ou [HAT-02]). Cette théorie légitime les approches du type Intelligence Artificielle. Ces approches et sa théorie de la conception sont développés par H. Simon dans un ouvrage qui est une référence incontournable, publié en 1969 et intitulé « les sciences de l'artificiel » [SIM-69]. Cet ouvrage est très souvent présenté comme posant les fondations de la conception vue comme une nouvelle discipline, vision cautionnée par l'aura scientifique de H. Simon qui est tout à la fois un des pères fondateurs de l'intelligence artificielle, prix Nobel d'Economie en 1978, et auteur incontournable dans des disciplines comme la psychologie expérimentale ou les sciences des organisations.

SIP (Approche) : SIP est l'acronyme de « Symbolic Information Processing approach ». Cette approche est détaillée dans le paragraphe « III.b.2.d L'approche OSMO dans le cas de la conception ». Dans cette approche la conception est vue comme une activité qui peut être simulée et reproduit par un ordinateur manipulant des Symboles. Cette approche est celle qui a donné naissance à l'intelligence artificielle et aux systèmes experts. Interprétée strictement, cette approche peut laisser à penser que la conception peut se ramener à des logiciels simulant l'activité de conception par les savoirs, les méthodes qu'ils implantent. Interprétée ainsi, elle s'inscrit dans la version extrême d'une vision OSMO de la conception dont nous argumentons qu'elle est en crise dans le chapitre III. SIP serait, avec la théorie de la décision, les 2 théories qui ont dominé les sciences de la conception dans la version OSMO.

SCCO (Approche) : SCCO est l'acronyme de Système – Connaissances – Compétences – Organisation. Il s'agit d'une approche de la conception, sans doute innovante pour le génie électrique, mais vers laquelle une partie des recherches présentées dans ce manuscrit s'oriente. Elle consiste à dire qu'à côté des objets d'étude classiques de l'approche OSMO (les objets, les savoirs, les méthodes et les outils), il faut aller vers une vision de la conception intégrant aussi des objets d'étude qui sont les Systèmes, les Connaissances, les Compétences et les Organisations. Ces objets ont tous en commun de nécessiter la présence des concepteurs/modélisateurs. Le chapitre IV argumente que ceci n'est concevable dans un nouveau cadre épistémologique constructiviste. On y argumente aussi que c'est possible pour sortir d'une crise d'une approche de la conception qui en resterait simplement au cadre OSMO.

S-C (Approche) : S-C désigne une approche ou conception de la conception que nous définissons dans le tableau IV.2. S-C est l'acronyme pour Sciences de la Complexité. L'hypothèse de base de cette approche est certainement de considérer que la conception ne peut émerger que dans un système intégrant le concepteur/modélisateur en tant que sujet. Le système de conception intégrant cet acteur humain produit alors une activité qui se caractérise par des propriétés complexes de non déterminisme, qui se manifestent par des opérateurs avec plusieurs embranchements possibles, de non prévisibilité, ...). En faisant de la présence du Concepteur/Modélisateur un élément indispensable à l'émergence de l'activité de conception, cette approche n'est possible que dans un cadre épistémologique constructiviste.

Stratégie: Voir définition dans le Tableau IV.3°. A l'inverse des méthodes et des programmes pré-définies, les stratégies menées par les concepteurs, sont claires dans leurs objectifs, mais nécessitent une adaptation continue et dynamique en fonction des aléas, faits nouveaux mis en œuvre par la fait de progresser. Elles nécessitent la présence du concepteur/modélisateur. Dans le tableau IV.4, on définit par exemple des notions de:

- stratégies rationnelles (Arriver à formuler des choix, des hypothèses,... sur le modèle à construire, sur les contraintes exprimées dans le cahier des charges, sur le choix de l'algorithme pour dimensionner la structure par une approche par optimisation)
- stratégies heuristiques (il s'agit des activités de choix de la méthode d'optimisation, de l'approche de modélisation, des hypothèses sur la formulation des contraintes, des objectifs par analogie, par intuition, ...)

Synchronisation cognitive : Désigne le temps nécessaire pour qu'un groupe d'au moins deux concepteurs construise un espace de représentation commun (utilise le même vocabulaire, le même sémantique, ...). Cette activité est mise en évidence dès lors qu'on observe des concepteurs en situation de conception collaborative comme cela est évoqué dans le chapitre V.c.1 et dans le tableau V.4). Ce type de concept ne peut se comprendre que dans une approche SCCO de la conception, puisqu'il s'agit du temps nécessaire pour que des concepteurs échange des connaissances (et pas simplement des savoirs formels), avec une grande part d'échanges informel par échange direct de personne à personne en situation de conception.

Théorie de la décision : Cette approche est détaillée dans le paragraphe « III.b.2.d L'approche OSMO dans le cas de la conception ». Cette théorie voit la conception comme étant une problématique de choix dans un ensemble d'alternatives qui sont décrites par un espace mathématique. Elle propose l'optimisation comme formalisation du comportement rationnel de conception face à cette problématique de choix, cherchant à minimiser ou maximiser une fonction d'utilité elle-même formulable mathématiquement. La théorie de la décision serait, avec l'approche SIP, les 2 théories qui ont dominé les sciences de la conception dans la version OSMO.

Production scientifique

Revue à comité de lecture

[WFR-1] - "Automatic Task Optimization for Finite Element Loop Computations: An Expert Tool", **F. WURTZ**, J. BIGEON, J.L. COULOMB, P. EUSTACHE, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 31, No 3, may 1995, pp. 1678-1683

[WFR-2] - "A Methodology and a Tool for the Computer Aided Design with constraints of Electrical Devices", **F. WURTZ**, J. BIGEON, C. POIRSON, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 32, No 3, may 1996, pp. 1429-1432

[WFR-3] - "A Few Results for using Genetic Algorithms in the Design of Electrical Machines", **F. WURTZ**, M. RICHOMME, J. BIGEON, J.C. SABONNADIÈRE, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 33, No. 2, march 1997, pp.1892-1895

[WFR-4] - "Methodological Guidelines for the use of Analytical and Numerical Models in a Design Process of an Electromagnetic Device", **F. WURTZ**, C. ESPANET, J. BIGEON, J.M. KAUFFMANN, J.L. COULOMB, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 34, No 5, September 1998, pp. 3411-3414

[WFR-5] - "Nouvelle méthodologie de conception de dispositifs électrotechniques. PASCOSMA, un outil pour le dimensionnement avec des modèles analytiques", J. FANDINO, **F. WURTZ**, J. BIGEON, *Revue Internationale de Génie Electrique*, Volume 2, n°1/1999, pages 83 à 100

[WFR-6] - "A Comparative Study of two Methods for constrained Optimisation with analytical models dealing with implicit parameters", C. COUTEL, **F. WURTZ**, J. BIGEON, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 35, No. 3 may 1999, pp. 1738-1741

[WFR-7] - "Application of a New Optimization Approach to the Design of Electrical Wheels", **F. WURTZ**, C. ESPANET, J. BIGEON, J.M. KAUFFMANN, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 14, No. 4, December 1999, pp. 952-958

[WFR-8] - "A Methodology for the Sizing and the Optimisation of an Electromagnetic release", E. ATIENZA, **F. WURTZ**, J. BIGEON, M. PERRAULT, V. MAZAURIC, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 36, No. 4, July 2000, pp. 1659-1663

[WFR-9] - "Calcul des racines d'un polynôme dans une méthodologie d'optimisation de type gradient pour le dimensionnement de dispositifs électriques", C. SAUVEY, **F. WURTZ**, F. BAR, P. ROSNET, J. FANDINO et J. BIGEON, *Revue Internationale de Génie Electrique*, Volume 4, n°1-2/2001, pages 135 à 147

[WFR-10] - "E-Cooperative Design Among Mechanical and Electrical Engineers over the Internet : Implications for Communication Between Professional Cultures", B. DELINCHANT, V. RIBOULET, L. GERBAUD, P. MARIN, F. NOËL, **F. WURTZ**, *IEEE - Transactions on Professional Communications*, vol. 45, No. 4, December 2002, pp. 231-249

[WFR-11] - "Automatic Generation of Sizing Models for the Optimization of Electromagnetic Devices Using Reluctance Networks", A. DELALE, L. ALBERT, AND L. GERBAUD, **F. WURTZ**, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 40, No. 2, March 2004, pp. 830-833

[WFR-12] - "Reducing sensitivity analysis time cost of compound model", B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, E. ATIENZA, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 40, No. 2, March 2004, pp. 1216-1219

[WFR-13] - "A component-based framework for the composition of simulation software modeling electrical systems", B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, D. MAGOT, L. GERBAUD, SIMULATION, Simulation, Transactions of the Society for Modeling and Simulation, Vol. 80, Issue 7-8, July-August 2004, pp. 347-356

[WFR-14] - "Un environnement pour la mise en oeuvre rapide de modèles et de processus de conception", B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, *Revue Internationale de Génie Electrique*, Volume 7, n° 5-6/2004, pages 699 à 724

[WFR-15] - "Comparaison des méthodes stochastiques et déterministes pour l'optimisation de dispositifs électrotechniques", O. HAJJI, S. BRISSET, **F. WURTZ**, P. BROCHET, J. FANDINO, *Revue Internationale de Génie Electrique*, numéro spécial maîtrise de l'énergie électrique, volume 8 – n° 2/2005, pages 241 à 258

[WFR-16] - "Using Automatic Code Differentiation for Optimization", V. FISCHER, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 41, No. 5, May 2005, pp. 1812-1815

[WFR-17] - "Co-sizing of an electromechanical device by using optimisation process", I. AMMAR, L. GERBAUD, PH. R. MARIN, **F. WURTZ**, *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 24 No. 3, 2005, pp. 997-1012

[WFR-18] - "Sizing of automotive claw-pole alternator based on analytical modeling", L. ALBERT, C. CHILLET, A. JAROSZ, J. ROUSSEAU, **F. WURTZ**, *ELECTROMOTION*, vol. 12, 2005, Number 2 – 3, April - September 2005, pp. 118-124

[WFR-19] - "Integration of the volume segmentation method into an optimization process: application to the sizing of a micro-actuator for deformable mirrors", H.L. RAKOTOARISON, **F. WURTZ**, J. STEPANEK, B. DELINCHANT, O. CUGAT, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, Issue 4, April 2006, pp. 1163 – 1166

[WFR-20] - "A novel sizing environment (DSP-1) dealing with semi-numerical models applied to the optimization of a bi-stable out-of-plane magnetic micro-switch", H. CHETOUANI, H. ROSTAING, **F. WURTZ**, G. REYNE, B. DELINCHANT, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, Issue 4, April 2006, pp. 1231 – 1234

[WFR-21] - "Automatic generation of sizing static models based on reluctance networks for the optimization of electromagnetic devices", B. DU PELOUX, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, V. LECONTE, F. DORSCHNER, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, Issue 4, April 2006, pp. 715 - 718

[WFR-22] - "Statut et nature des processus de conception que nous utilisons en électrotechnique et possible rationalisation et automatisations", **F. WURTZ**, REE (Revue de l'Electricité et de l'Electronique), N° 6/7 Juin/juillet 2006, page 70 à 78

[WFR-23] - "An Optimizer using the Software Component Paradigm for the Optimization of Engineering Systems", B. DELINCHANT, D. DURET, L. ESTRABAUT, L. GERBAUD, H. H. NGUYEN HUU, B. DU PELOUX, H.L. RAKTOARISON, F. VERDIERE, S. BERGEON; **F. WURTZ**, *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 26 No. 2, 2007, pp. 368-379

Actes de conférences à comité de lecture et proceedings

[WFC-1] - "Automatic Algorithm Generation and Optimisation for Finite Element Solver using Object-Oriented Paradigms", **F. WURTZ**, J. BIGEON, J.L. COULOMB, Proceedings of the European Simulation Symposium 1994 (*ESS'94*), October 9-12, Istanbul, Turkey, pp. 120-124

[WFC-2] - "Automatic Generation of Softwares for the Design of Static Converters", J.M. BOUCHE, **F. WURTZ**, L. GERBAUD, The European Conference on Power Electronics and Applications (*EPE'95*), 19-21 September 1995, Sevilla, Spain, pp 3.304-3.309

[WFC-3] - "L'intégration des approches analytiques et numériques pour une C.A.O. efficace en génie électrique", **F. WURTZ**, C. ESPANET, J. BIGEON, J.M. KAUFFMANN, *NUMELEC'97*, 2^{ème} Conférence Européenne sur les Méthodes Numériques en Electromagnétisme, Lyon, France, 19-20-21 mars 1997, pp. 12-13

[WFC-4] - "Application of a New Optimization Approach to the Design of Electrical Wheels", **F. WURTZ**, C. ESPANET, J. BIGEON, J.M. KAUFFMANN, 1997 IEEE International Electric Machines

and Drives Conference Record (**IEEE-IEMDC'97**), Milwaukee, Wisconsin, May 18-21, 1997, pp. MB3-3.1-MB3-3.3

[WFC-5] - "A Methodology using Constrained Optimisation Techniques for the Design of Static Converters", S. BERGEON, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, The European Conference on Power Electronics and Applications (**EPE'97**), 8-10 Septembre 1997, Trondheim, Norway, pp. 2.767 - 2.772

[WFC-6] - "Automatic Design of Permanent Magnet Coupling", J.P. YONNET, P. PANDELE, C. COUTEL, **F. WURTZ**, Fifteenth International Workshop on RARE-EARTH MAGNETS and their Applications, 30 August - 3 septembre 1998, Dresde, RFA, pp. 799-806

[WFC-7] - "Towards an Automatic Approach for the Design of Static Converters", S. BERGEON, L. GERBAUD, J. BIGEON, **F. WURTZ**, IEEE Workshop on Computers in Power Electronics (**COM.P.E.L.98**), Villa Erba, Cernobbio, Italy, 19 - 22 July 1998, pp.157-161

[WFC-8] - "Toward a CAD Tool for the Sizing of Static Converters", S. BERGEON, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, J. BIGEON, 10th European Simulation Symposium and Exhibition (**ESS'98**), October 26-28, 1998, Nottingham, United Kingdom, pp. 463-468

[WFC-9] - "Constrained Optimisation of a Linear Actuator: Comparison of Two Methods to deal with Implicit Parameters in the Analytical Model", C. COUTEL, **F. WURTZ**, J. BIGEON, C. CHILLET, IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record (**IEEE-IEMDC'99**), Mai 9-12, 1999 Seattle, Washington, USA, pp. 625-627

[WFC-10] - "Design of Permanent Magnet Coupling Using the PASCOSMA Methodology", C. COUTEL, P. PANDELE, J.P. YONNET, **F. WURTZ**, J. BIGEON, IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record (**IEEE-IEMDC'99**), Mai 9-12, 1999 Seattle, Washington, USA, pp. 434-436

[WFC-11] - "A Methodology for Using Least Squares Minimisation in Gradient Optimisation of Electrical Devices", C. SAUVEY, **F. WURTZ**, J. BIGEON, F. BINET, IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record (**IEEE-IEMDC'99**), Mai 9-12, 1999 Seattle, Washington, USA, pp. 195-197

[WFC-12] - "A Methodology for Using Morsels Continuous Functions in Gradient Optimisation of Electrical Devices", C. SAUVEY, **F. WURTZ**, J. BIGEON, F. BINET, IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record (**IEEE-IEMDC'99**), Mai 9-12, 1999 Seattle, Washington, USA, pp. 431-433

[WFC-13] - "C.A.S. of Static Converter Using Optimisation and Symbolic Models ", S. BERGEON, L. GERBAUD, J. BIGEON, **F. WURTZ**, IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record (**IEEE-IEMDC'99**), Mai 9-12, 1999 Seattle, Washington, USA, pp. 75-77

[WFC-14] - "Analytical Gradient Type Optimisation of a Switched Reluctance Motor", C. SAUVEY, **F. WURTZ**, J. BIGEON, 12th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (**Compumag 99**), October 25-28, 1999, Sapporo, Japan, pp.830-831

[WFC-15] - "Steps to an Electrical Design Environment", E. ATIENZA, J. BIGEON, **F. WURTZ**, B. BEL HABIB, the 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (**IECON '99**), November 29 - December 3, 1999, San-Jose, USA, pp. 815-820

[WFC-16] - "An Integrated Platform for Electrical Design", B. BEL HABIB, **F. WURTZ**, J. BIGEON, E. ATIENZA, the 25th annual conference of the IEEE Industrial Electronics Society (**IECON '99**), November 29 - December 3, 1999, San-Jose, USA, pp. 809-814

[WFC-17] - "Une analyse et une architecture pour le dimensionnement des dispositifs électromagnétiques basses fréquences à l'aide de modèles analytiques", **F. WURTZ**, C. COUTEL et J. BIGEON, **NUMELEC'2000**, 3^{ème} Conférence Européenne sur les Méthodes Numériques en Electromagnétisme, 20-21-22 mars 2000, Poitiers, France, pp. 116-117

[WFC-18] - "Intégration du calcul des racines d'un polynôme dans une méthodologie d'optimisation de type gradient", C. SAUVEY, **F. WURTZ**, F. BAR, P. ROSNET, J. FANDINO, J. BIGEON, **NUMELEC'2000**,

3^{ème} Conférence Européenne sur les Méthodes Numériques en Electromagnétisme, 20-21-22 mars 2000, Poitiers, France, pp. 114-115

[WFC-19] - "A Methodology For Using Roots of a Polynomial in Gradient Optimisation of Electrical Devices", C. SAUVEY, **F. WURTZ**, F. BAR, P. ROSNET, J. FANDINO, J.BIGEON, 9th IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (**CEFC'2000**), June 4-7 2000, Milwaukee, USA, pp. 332

[WFC-20] - "A Study and an Environment for the Sizing of Electrical Devices with Analytical Models", **F. WURTZ**, C. COUTEL, J. BIGEON, 9th IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (**CEFC'2000**), June 4-7 2000, Milwaukee, USA, pp. 347

[WFC-21] - "A Methodology for Electrical Design Software Integration", B. BEL HABIB, **F. WURTZ**, J. BIGEON, 9th IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (**CEFC'2000**), June 4-7 2000, Milwaukee, USA, pp. 450

[WFC-22] - "Components approach : the integration way for electromagnetic simulation software", B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, E. ATIENZA, J. BIGEON, 13th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (**Compumag 2001**), July 2-5, 2001, Evian, France, pp.226-227

[WFC-23] - "EDEN : A generic integrated component software for constraint optimisation", E. ATIENZA, J. BIGEON, **F. WURTZ**, V. LECONTE, 13th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (**Compumag 2001**), July 2-5, 2001, Evian, France, pp.232-233

[WFC-24] - "Modes de communication et échanges d'informations en conception distribuée via Internet", V. RIBOULET, B. DELINCHANT, L. GERBAUD, P. MARIN, F. NOËL, **F. WURTZ**, **Colloque IPI'2002 "Concevoir et Organiser la Performance Industrielle"**, Grenoble, France, 28-30 janvier 2002, page 203 à 213

[WFC-25] - "Automating tool integration to preliminary design request ", B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, J. BIGEON, The Tenth Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (**CEFC2002**), June 16-19 2002, Perugia, Italy, pp. 88

[WFC-26]- "New working possibilities to electrical software thanks to component methodologies", B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, E. ATIENZA, J. BIGEON, 7th International Conference on Modeling and Simulation of Electric Machines, Converters and Systems (**ELECTRIMACS2002**), Montréal, Québec, Aug. 18-21, 2002

[WFC-27] - "Concurrent Design Versioning System, based on XML file", B. DELINCHANT, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, E. ATIENZA, 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, (**IEEE-IECON'2002**), Sevilla, Spain, Nov. 5 to 8, 2002 (6 pages), ISBN: 0-7803-7474-6, pp 2485-2490

[WFC-28]- "A Methodology and Tools for Worst-Case Tolerance Design", D. MAGOT, **F. WURTZ**, B. COGITORE, B. DELINCHANT, JP KERADEC, 14th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (**Compumag 2003**), Saratoga springs, New York, du 13 au 18 juillet, USA

[WFC-29] - "Efficient sizing of passive analogic filters with methodologies and tools adapted to the designer ", **F. WURTZ**, L. GERBAUD, B. COGITORE, E. CLAVEL, European conference on Power Electronics and Applications (**EPE'2003**), Toulouse, France, 2-4 September 2003, 10 pages, support sur CD-ROM, CD ISBN n°90 75815 07 7

[WFC-30] - "A methodology for worst-case tolerance design ", D. MAGOT, **F. WURTZ**, B. COGITTORE, JP KERADEC, European conference on Power Electronics and Applications (**EPE'2003**), Toulouse, France, 2-4 September 2003, 10 pages, support sur CD-ROM, CD ISBN n°90 75815 07 7

[WFC-31] - "Analytic modelling of automotive claw-pole alternator for design and constrained optimisation" L. ALBERT, C. CHILLET, A. JAROSZ, **F. WURTZ**, European conference on Power Electronics and Applications (**EPE'2003**), Toulouse, France, 2-4 September 2003, 8 pages, support sur CD-ROM, CD ISBN n°90 75815 07 7

- [WFC-32] - "Statut et nature des modèles que nous utilisons en électrotechnique",
F. WURTZ, Electrotechnique Du Futur (**EF'2003**), Supélec, Gif-sur-Yvette, 9 et 10 décembre 2003, 8 pages, support sur CD-ROM
- [WFC-33] - "Comparaison des méthodes stochastiques et déterministes pour l'optimisation de dispositifs électromagnétiques",
O. HAJJI, S. BRISSET, **F. WURTZ**, P. BROCHET, J. FANDINO, Electrotechnique Du Futur (**EF'2003**), Supélec, Gif-sur-Yvette, 9 et 10 décembre 2003, 8 pages, support sur CD-ROM
- [WFC-34] - "Partage d'informations en co-conception distribuée entre cultures techniques distinctes",
R. VINCENT, P. MARIN, **F. WURTZ**, S. GOVERS, *Colloque IPI'2004* "Information connaissances et Compétences dans les Systèmes de Production", Autrans, France, 22-23 janvier 2004, page 3 à 14
- [WFC-35] - "Une architecture à base de composants logiciels pour la capitalisation et le re-utilisation de connaissances formelles dans les bureaux de R&D",
B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, *Colloque IPI'2004* "Information connaissances et Compétences dans les Systèmes de Production", Autrans, France, 22-23 janvier 2004, page 273 à 285
- [WFC-36] – "A framework supporting collaborative optimisation for multi professional design teams",
R. VINCENT, P. MARIN, S. GOVERS, **F. WURTZ**, 5th International Conference On Integrated Design And Manufacturing In Mechanical Engineering (**IDMME'2004**), April 5 - 7, 2004, University of Bath, United Kingdom
- [WFC-37] – "Design Optimisation of Integrated Planar Miniature Magnetic Motor",
B. DELINCHANT, N. ACHOTTE, B. DU PELOUX, **F. WURTZ**, J. DELAMARE, O. CUGAT, Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (**DTIP 2004**), 12-14 May 2004, Montreux, Switzerland., pp. 329-334
- [WFC-38] – "Design of claw-pole alternator using magnetic equivalent circuit",
L. ALBERT, C. CHILLET, A. JAROSZ, J. ROUSSEAU, **F. WURTZ**, The Eleventh Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (**CEFC 2004**), June 6 - 9, 2004, Seoul, Korea, pp. 190
- [WFC-39] – "Using Software Components For Multi-Disciplinary Optimisation",
V. FISCHER, B. DELINCHANT **F. WURTZ**, L. Gerbaud, The Eleventh Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (**CEFC 2004**), June 6 - 9, 2004, Seoul, Korea, pp. 177
- [WFC-40] – "Design Complexity Of Permanent Magnet Based Actuators, Solved By A Component Software Framework", **F. WURTZ**, B. DELINCHANT, The Eighteenth International Workshop on High-Performance Magnets and Their Applications (**HPMA'2004**), 29 August 2004 to 2 September 2004, Annecy, France, pp. 370-376
- [WFC-41] – "Reusing Computation Tools To Improve Design And Knowledge Sharing Of Magnets Based Devices"
B. DELINCHANT, J. STEPANEK, L. RAKOTOARISON, J. DELAMARE, O. CUGAT, **F. WURTZ**, The Eighteenth International Workshop on High-Performance Magnets and Their Applications (**HPMA'2004**), 29 August 2004 to 2 September 2004, Annecy, France, pp. 900-907
- [WFC-42] – "Sizing of Automotive Claw-Pole Alternator Based On Analytical Modelling"
L. ALBERT, C. CHILLET, A. JAROSZ, J. ROUSSEAU, **F. WURTZ**, 16th International Conference On Electrical Machine (ICEM'2004), September 5 - 8, 2004, Cracow Poland, vol. 2., pp 253-254, article complet de 5 pages disponible sur le CD-ROM de la conférence
- [WFC-43] – "Comparison of Stochastic and Deterministic Methods For The Optimal Design Of Electromagnetic Devices", O.E. HAJJI, S. BRISSET, **F. WURTZ**, P. BROCHET, J. FANDINO, VIII-th International Workshop on Optimisation and inverse Problems in Electromagnetism (**OIPE'2004**), Grenoble, FRANCE, 6-8 September 2004, pp. 121-122
- [WFC-44] – "Comparison of Two Optimization Strategies for the Design of an Ultra-Fast Actuator", K. N'GUESSAN, V. LECONTE, J.L. COULOMB , **F. WURTZ**, V. MAZAURIC, VIII-th International

Workshop on Optimisation and inverse Problems in Electromagnetism (**OIPE'2004**), Grenoble, FRANCE, 6-8 September 2004, pp. 117-118

[WFC-45] – "Analytical and Numerical Analysis Based Design of a Permanent Magnet Synchronous Machine", Z. MAKNI, E. DE CECCO, M. BESBES, C. MARCHAND AND **F. WURTZ**, VIII-th International Workshop on Optimisation and inverse Problems in Electromagnetism (**OIPE'2004**), Grenoble, FRANCE, 6-8 September 2004, pp. 123-124

[WFC-46] – "Co-sizing of an electromechanical device by using optimisation process ", L.GERBAUD, PH. R. MARIN, **F. WURTZ**, VIII-th International Workshop on Optimisation and inverse Problems in Electromagnetism (**OIPE'2004**), Grenoble, FRANCE, 6-8 September 2004, pp. 95-96

[WFC-47] – "Automatic code differentiation for electronical devices", E. DÉZILLE, V. FISCHER, **F. WURTZ**, L. GERBAUD, The 15th Conference of the Computation of Electromagnetics Fields (**COMPUMAG'2005**), Shenyang, CHINA – June 26-30, 2005, vol. III, pp, 130-131

[WFC-48] – "Automatic Generation of Sizing Static Models Based on Reluctance Networks for the Optimization of Electromagnetic Devices", B. DU PELOUX, F. DORSCHNER, L. GERBAUD, V. LECONTE, **F. WURTZ**, The 15th Conference of the Computation of Electromagnetics Fields (**COMPUMAG'2005**), Shenyang, CHINA – June 26-30, 2005, vol I., pp. 215-215

[WFC-49] - "Integration of the Volume Segmentation Method into an Optimization Process. Application to the sizing of a Micro-Actuator for Deformable Mirrors", H.L.RAKOTOARISON, **F.WURTZ**, J.STEPANEK, B.DELINCHANT, O.CUGAT, The 15th Conference of the Computation of Electromagnetics Fields (**COMPUMAG'2005**), Shenyang, CHINA – June 26-30, 2005, vol. II, pp. 154-155

[WFC-50] – "A Novel Sizing Environment (DSP-1) Dealing with Semi Numerical Models Applied to the Optimization of a Bi-Stable Out-of-Plane Magnetic Micro-Switch", H. CHETOUANI, **F. WURTZ**, G. REYNE, H. ROSTAING, B. DELINCHANT, The 15th Conference of the Computation of Electromagnetics Fields (**COMPUMAG'2005**), Shenyang, CHINA – June 26-30, 2005, vol IV., pp. 176-177

[WFC-51] – "Optimisation d'un Micro-actionneur Electromagnétique pour Miroir Déformable", H.L.RAKOTOARISON, J.STEPANEK, **F.WURTZ**, O.CUGAT, B.DELINCHANT, EF'2005 (Electrotechnique du Futur), Grenoble 14-15 septembre 2005, résumé p 64 du recueil, article de 4 pages disponible sur le CD

[WFC-52] – "Optimisation d'un Micro-Relais Magnétique Bistable Vertical en vue du Dimensionnement d'un Micro-Scanner Optique", H. CHETOUANI, H. ROSTAING, **F. WURTZ**, G. REYNE, B. DELINCHANT, EF'2005 (Electrotechnique du Futur), Grenoble 14-15 septembre 2005, résumé p 63 du recueil, article de 4 pages disponible sur le CD

[WFC-53] – "Conception collaborative en génie électrique : de l'expérimentation à la spécification des outils et méthodes", I.AMMAR, **F.WURTZ**, L.GERBAUD, PH.R.MARIN, G.PRUDHOMME, EF'2005 (Electrotechnique du Futur), Grenoble 14-15 septembre 2005, résumé p 25 du recueil, article de 4 pages disponible sur le CD

[WFC-54] – "Génération automatique de modèles à base de réseaux de réluctances pour le dimensionnement des dispositifs électromagnétiques", B. DU PELOUX, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, V. LECONTE, F. DORSCHNER, EF'2005 (Electrotechnique du Futur), Grenoble 14-15 septembre 2005, résumé p 29 du recueil, article de 4 pages disponible sur le CD

[WFC-55] – "Dérivation de code pour des modèles analytiques en Génie Electrique", E. DEZILLE, V. FISCHER, **F. WURTZ**, L. GERBAUD, EF'2005 (Electrotechnique du Futur), Grenoble 14-15 septembre 2005, résumé p 22 du recueil, article de 4 pages disponible sur le CD

[WFC-56] – "Statut et nature des processus de conception que nous utilisons en électrotechnique et possible rationalisation et automatisation", **F. WURTZ**, EF'2005 (Electrotechnique du Futur), Grenoble 14-15 septembre 2005, résumé p 79 du recueil, article de 6 pages disponible sur le CD, présentation orale disponible sur demande

[WFC-57] – "CoSTo : un outil d'aide au dimensionnement collaboratif des composants en génie électrique"
I.AMMAR, L.GERBAUD, **F.WURTZ**, JTEA'2006, Tunis, 12 au 14 Mai 2006 (6 pages)

[WFC-58] - "Operational Tolerance Study using Local and Global Deterministic Algorithms"
D. DURET, **F. WURTZ**, L. GERBAUD, S. BERGEON, B. COGITORE, **OIPE'2006** (Optimization and Inverse Problem in Electromagnetism), Sorrento, Italy, 13-15 September 2006 (2 pages)

[WFC-59] – "Collaborative sizing of electromagnetic structure: CoSTo: a Tool for Collaborative Specifications"
I.AMMAR, L.GERBAUD, **F.WURTZ**, **OIPE'2006** (Optimization and Inverse Problem in Electromagnetism), Sorrento, Italy, 13-15 September 2006 (2 pages)

[WFC-60] - "A proposal of a norm for Black Box Components dedicated to the Design and Optimization of Engineering Systems"
B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, L. GERBAUD, B. DU PELOUX, L. ESTRABAUT, **OIPE'2006** (Optimization and Inverse Problem in Electromagnetism), Sorrento, Italy, 13-15 September 2006 (2 pages)

[WFC-61] - "An Optimizer using the Software Component Paradigm for the Optimization of Engineering Systems",
F. WURTZ, B. DELINCHANT, H. NGUYEN HUU, F. VERDIERE, S. BERGEON, **OIPE'2006** (Optimization and Inverse Problem in Electromagnetism), Sorrento, Italy, 13-15 September 2006 (2 pages)

[WFC-62] – "A tool for the collaborative sizing of electrical device : CoSTo"
I. AMMAR, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, IEEE-IECON'06 (International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation), Paris, France, November 7 - 10, 2006

[WFC-63] – "Optimization of an electrical system using Pareto borders of each component. Application to an automotive drive chain"
H. NGUYEN HUU, N. RETIERE, **F. WURTZ**, IEEE-IECON'06 (International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation), Paris, France, November 7 - 10, 2006

[WFC-64] – "Composition of Optimization Algorithms by using Software Components for Optimization of Electromagnetic Devices",
HIEU NGUYEN-HUU, **F. WURTZ**, N. RETIÈRE, B. DELINCHANT, The 16th Conference of the Computation of Electromagnetics Fields (**COMPUMAG'2007**), June 24-28, Aachen Germany

[WFC-65] – "Fast Transient Simulation for Electromechanical Actuators",
B. DU PELOUX, L. GERBAUD, V. LECONTE, **F. WURTZ**, FRÉDÉRIC DORSCHNER, The 16th Conference of the Computation of Electromagnetics Fields (**COMPUMAG'2007**), June 24-28, Aachen Germany

[WFC-66] – "Modeling of Passive Electronic Circuits with Sensitivity Analysis Dedicated to the Sizing by Optimization",
D. DURET, L. GERBAUD, **F. WURTZ**, J.-P. KERADEC, B. COGITORE,
11th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, Vietri sul Mare (**KES2007**), Italy 12, 13 and 14 September 2007

Chapitres d'ouvrages publiés

[WFO-01]
"Mixing of FEM and Analytical Modeling for the Preliminary Design of a Transformer"
B. DELINCHANT, **F. WURTZ**, J. FANDINO, pages 93 à 100, publié dans:
"Optimisation and Inverse Problems in Electromagnetism", Kluwer Academic Publishers, sous la direction de Marek Rudnicki et Slawomir Wiak, ISBN 1-4020-1506-2, 2003

[WFO-02]
"Optimization techniques benefits for magnetic component design"
D. MAGOT, **F. WURTZ**, B. COGITORE, J.P. KERADEC, pages 245 à 252
"Optimisation and Inverse Problems in Electromagnetism", Kluwer Academic Publishers, sous la direction de Marek Rudnicki et Slawomir Wiak, ISBN 1-4020-1506-2, 2003

[WFO-03]

"A framework supporting collaborative optimisation for multi-professional design teams"

RIBOULET V., MARIN P., GOWERS S., **WURTZ F.**

in: *Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, A. Bramley & al. ed. Ed. Springer pub., pp.123-134

Participation à des séminaires- et workshop

[WFS-01] – “A framework based on software components for design and optimization in engineering with integration of financial aspects“

B. DELINCHANT, L. GERBAUD, .F. WURTZ , *International Workshop on Optimization Frameworks for Industrial Applications*, “Confront&Share Methods: Efficiencies and Limits, Paris, FRANCE, October 19-21, 2005

[WFS-02] – “A framework based on software components for design and optimization in engineering“

B. DELINCHANT, L. ESTRABAUT, L. GERBAUD, F. WURTZ, *Second Conference on Simulation and Multidisciplinary Optimization*, 23-24 May 2006, Belfort - France

[WFS-03] – “Optimal Energy Management in buildings: sizing, anticipative and reactive management“

S. BACHA, H. PHAM, G. FOGGIA, D. ROYE, G. WARKOSEK, F. WURTZ, *Energy Management system Workshop* – Torino 24, 25 May 2007

DEA

[WFD-93] **F. WURTZ** , "Optimisation automatique d'un code éléments finis en vue d'économiser du temps de calcul dans les problèmes d'optimisation", DEA de génie électrique, LEG (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble), septembre 1993.

THESE

[WFT-96] **F. WURTZ** , "Une nouvelle approche pour la conception sous contraintes de machines électriques", thèse de l'institut national polytechnique de Grenoble, le 28 mai 1996

Logiciels

[WFL-01]

PASCOSMA est la première plate-forme dédiée aux études de faisabilité et au pré-dimensionnement que j'ai développée au cours de ma thèse. Les travaux attenants sont développés dans la partie « II.b.2 PASCOSMA : une première plate-forme pour le dimensionnement et les études de faisabilité »

[WFL-02]

Valorisation du logiciel **Pro@Design**

PASCOSMA (un prototype de recherche que j'ai développé précédemment) a permis d'initier un projet de valorisation au sein de l'incubateur Grenoble Alpes Incubation ce qui a permis de créer une société en novembre 2002 : Design Processing Technologies (voir <http://www.designprocessing.com/>). Le logiciel commercialisé dans cette société s'appelle Pro@Design. J'en suis auteur à 20%. Les clients de cette sociétés sont des industriels tels que Somfy (74 – Cluses), Hager (67 – Obernai), ... et des laboratoires et universitaires (LGEP – Paris, LEEI – Toulouse, L2EP - Lille, L2ES – Belfort, ..., Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, ...)

[WFL-03]

Logiciel **CDI-Optimizer**.

Il s'agit d'un optimiseur pour le dimensionnement et l'optimisation (de dispositifs électromagnétique en particulier, mais de tout dispositif d'ingénierie en général pour lequel on peut définir un modèle de dimensionnement et de fonctionnement). Ce logiciel est disponible est utilisé très régulièrement au laboratoire, par des chercheurs de l'équipe et des chercheurs hors équipe (équipe micro-systèmes, équipe Machine et Matériaux, ...) Il est aussi utilisé par un partenaire industriel (Microspire, siège social à Thionville (57), bureau de recherche et développement à Moirans (38)) pour la conception de composant

bobinés et de filtres pour l'industrie des télécommunications. Ce logiciel a été développé dans le cadre de la thèse de D. Magot.

La première version a été mise en service en 2004. Ce logiciel offre des services d'optimisation tels que : optimisation avec des approches gradients, stochastiques, des algorithmes hybrides, optimisation avec algorithmes déterministes globaux, gestion des courbes de Pareto, gestion des paramètres discrets et possibilité de se connecter pour récupérer les valeurs possibles de ces paramètres discrets dans des bases de données, ...

[WFL-04]

Logiciel **ReluctTool**

Il s'agit d'un logiciel qui permet de modéliser les dispositifs électromagnétiques en utilisant l'approche par Réseaux de réductances. Ce logiciel est développé en partenariat avec Schneider Electric dans le cadre de la thèse de B. du Peloux. Le développement de ce logiciel est déjà très avancé et doit faire l'objet d'un déploiement dans les bureaux d'étude de Schneider Electric pour l'année à venir.

[WFL-05]

Logiciel **VisualComposer**.

Il s'agit d'un logiciel de composition, permettant d'assembler des composants logiciels contenant des modèles pour générer récursivement un nouveau composant qui sera le composant du système. La figure 6 montre le principe de fonctionnement de ce logiciel. Il a été développé dans le cadre de la thèse de B. Delinchant. La première version a été mise en service en 2003.

[WFL-06]

Logiciel **CADES**

Le logiciel CADES est la dernière génération de plate-forme logicielle que nous avons développé pour instrumenter le pre-dimensionnement et les études de faisabilité. Cette plate-forme intègre des logiciels antérieurs comme [WFL-03] et [WFL-04]. Elle teste le concept de framework logiciel s'appuyant sur le concept de composant logiciel. Son architecture et ses applications sont amplement développées dans le paragraphe « II.b.3.a Structuration de la dernière génération de plate-forme proposée –CADES : un framework générateurs – composants logiciels – services »

BREVET

[WFB-04]

Titre : *Filtre passe-bas à composants uniquement passifs destiné au découplage de voies basse fréquence et haute fréquence*

Inventeurs : B. Cogitore - F. Wurtz - J.P. Keradec - L. Gerbaud

Numéro de publication : 2 873 874

Numéro d'enregistrement national : 04 51672

Date de dépôt : 27.07.04

Date de mise à la disposition du public : 03.02.06, Bulletin 06/05

Commentaire : Il s'agit d'un Brevet déposé par la société Microspire dans le cadre de nos collaborations de recherche dans laquelle nous apportons notre support en terme de stratégies, de méthodes et d'outils.

Travaux de thèses encadres

Encadrement de travaux de thèse

Thèse de C. Coutel

Titre de la thèse :

"Contributions aux méthodologies de dimensionnement et d'optimisations sous contraintes de machines électriques"

Part prise dans l'encadrement : 90%

Thèse soutenue le 20 octobre 1999

Thèse de B. Bel Habib

Titre de la thèse :

"Méthodologies pour le développement de Plates Formes Intégrées dédiées à la Conception en Génie Electrique"

Part prise dans l'encadrement : 60%

Thèse soutenue le 13 juillet 2000,

Thèse de C. Sauvey

Titre de la thèse :

"Environnement de conception pour machines à réluctance variable"

Part prise dans l'encadrement : 90%

Thèse soutenue le 7 septembre 2000,

Thèse de B. Delinchant:

Titre de la thèse :

"Un Environnement à base de Composants, Intégrant le Concepteur et ses Outils, pour de Nouvelles Méthodes de CAO"

Part prise dans l'encadrement : 80%

Financement : Bourse du ministère

Contenu et portée des travaux :

Ces travaux ont consolidé nos concepts, nos savoirs et notre savoir-faire pour architecturer notre plate-forme pour le pré-dimensionnement et les études de faisabilité. Par ailleurs une mise en œuvre concrète, sur des exemples de conception de transformateurs et de microsystemes, est faite. Enfin ce travail essaye de cerner quelle doit être la part relative au concepteur, et à la plate-forme dans un processus de conception.

C'est notamment dans le cadre de cette thèse qu'a été développé le logiciel VisualComposer (voir [WFL-05] et figure II.15).

Date de soutenance : le 10 juillet 2003

Devenir du doctorant :

Maître de conférence dans notre équipe de recherche Conception et Dimensionnement Intégrés depuis septembre 2004.

Thèse de L. Albert :

Titre de la thèse:

"Méthodes, modèles et outils en vue du dimensionnement et de l'optimisation des alternateurs pour applications automobiles "

Part prise dans l'encadrement : 50%

Financement : CIFRE

Contenu et portée des travaux :

Ces travaux ont porté sur la mise en œuvre de nos approches de pré-dimensionnement et d'étude de faisabilité pour le dimensionnement d'alternateurs automobile. Trouver le bon compromis entre rendement et masse devient une question critique tant l'électrification des véhicules s'intensifie et fait de l'alternateur un organe dont la conception doit être faite avec un soin croissant. Cette thèse a montré que nos approches permettaient de faire cette conception avec une vision système (voir figure II.22). Par ailleurs cette thèse a montré comment des approches que nous avons développées pour faire du choix de structure offraient au concepteur un outil d'aide à la décision pour choisir entre plusieurs structures possibles d'alternateurs.

Co-encadrement avec une autre de recherche:

Avec l'équipe Matériaux et Dispositifs Electriques Avancés du LEG (équipe MADEA)

Partenariat industriel : contrat CIFRE avec Peugeot Citroën Automobiles

Date de soutenance : 13 juillet 2004

Devenir du doctorant : Ingénieur de recherche et développement chez Renault

Thèse de D. Magot :

Titre de la thèse :

« Méthodes et outils logiciels d'aide au dimensionnement - Application aux composants magnétiques et aux filtres passifs »

Part prise dans l'encadrement : 66%

Financement : CIFRE

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse a été l'occasion de développer une partie de notre plate forme pour être appliquée au dimensionnement et à l'optimisation de composants bobinés. C'est dans ce cadre qu'a été réalisé le logiciel CDI-Optimizer voir [WFL-03] qui est a présent couramment utilisé au laboratoire et par le partenaire industriel Microspire. Cette thèse a aussi commencé la réflexion sur la problématique de conception des filtres passifs. Par ailleurs elle a considérablement augmenté les champ des méthodes d'optimisation dont nous disposons et qui sont à présent implantées dans CDI-Optimizer : approches gradients, stochastiques, algorithmes hybrides, optimisation avec algorithmes déterministes globaux, gestion des courbes de Pareto, gestion des paramètres discrets et possibilité de se connecter pour récupérer les valeurs possibles de ces paramètres discrets dans des bases de données, approches pour faire du tolérancement ...

Co-encadrement avec une autre équipe de recherche:

L'équipe électronique de puissance du LEG.

Date de soutenance :

Le 28 septembre 2004

Partenariat industriel : contrat CIFRE avec la société Microspire (57 Thionville)

Devenir du doctorant :

Ingénieur dans la société qui commercialise Pro@Design (voir [WFL-02]).

Thèse de B. du Peloux,

Sujet des travaux :

« Modélisation des actionneurs électromagnétiques par réseaux de reluctances. Création d'un outil métier dédié au pré-dimensionnement par optimisation »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Financement : CIFRE

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse développe le générateur permettant de générer des modèles à partir du formalisme semi-analytique de réseaux de réductances. Ceci permet de répondre au

besoin du concepteur de disposer de formalismes permettant de générer des modèles pour le dimensionnement et les études de faisabilité macroscopiques et relativement léger, et c'est notamment un besoin pour notre société partenaire (Schneider Electric). Ceci donne lieu au développement du logiciel ReluctTool [WFL-04]. La figure II.12 donne un aperçu de ce logiciel.

Partenariat industriel : contrat CIFRE avec la société Schneider Electric (38 Grenoble)

Date de soutenance : thèse soutenue le 9 octobre 2006

Thèse de I. Ammar

Sujet des travaux :

« Conception collaborative en Génie Electrique: Spécification par l'usage et réalisation d'un environnement d'aide au dimensionnement »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Financement : bourse EGIDE

Contenu et portée des travaux :

La conception de dispositifs du génie électrique fait intervenir de plus en plus de compétences. Cela est le cas pour les structures électromécaniques classiques, mais cela devient encore plus vrai pour des structures intégrées comme les micro-systèmes ou même la conception de réseaux de bord automobile ou aviation. Un enjeu est donc bien de faire collaborer ces compétences en profitant du contexte nouveau apporté par Internet. L'ambition de cette thèse est de partir de l'analyse des dynamiques de co-conception entre concepteurs, analysées dans le cadre du projet région COSMOCE (voir partie A.5) sur la base d'expériences de conception collaborative de dispositifs électromécaniques que nous filmons. Nous essayons de partir des analyses interdisciplinaires (faites avec des cognitiens, des psychologues, ...) afin de spécifier et de réaliser de nouvelles plates-formes fonctionnant de façon répartie sur internet. Elles doivent permettre à plusieurs concepteurs, de construire de modèles et des cahiers des charges pour faire du dimensionnement de dispositifs du génie électrique par utilisation de techniques d'optimisation. Ces travaux sont un tournant important, marquant une intégration des acteurs humains dans notre étude de la conception avec une collaboration importante avec la communauté SHS.

Date de soutenance : thèse soutenue le 23 janvier 2007

Thèse de L. Rakotoarison :

Sujet des travaux :

« Génération automatique de modèles pour l'optimisation fortement contrainte des microsystèmes magnétiques »

Part prise dans l'encadrement :

33% pour l'année 1 de la thèse. Les années 2 et 3 d'encadrement seront prises en charge dans l'équipe CDI, puis l'équipe MAGE, par Benoît Delinchant qui a été recruté pour développer la thématique conception de micro-systèmes magnétiques dans notre équipe.

Financement : BDI CNRS pour pays en voie de développement

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse vise à mettre au point une suite logicielle, basée sur notre plate-forme CADES, pour les micro-systèmes magnétiques. Il s'agit notamment de réaliser un générateur, permettant de saisir une structure de micro-système magnétique et de générer un modèle pour le dimensionnement et l'optimisation de cette structure avec la sensibilité associée. Pour cela la thèse s'appuie sur une approche semi-analytique par moments dipolaires magnétiques. Ceci permet de répondre au besoin du concepteur de

disposer de formalismes permettant de générer des modèles pour le dimensionnement et les études de faisabilité de ces structures.

Co-encadrement avec une autre équipe de recherche:

L'équipe micro-systèmes magnétiques du LEG.

Date de soutenance : thèse soutenue le 29 novembre 2007

Thèse de E. Dezille :

Sujet des travaux :

"Conception et optimisation d'actionneurs électromécaniques dans le cadre de la protection basse tension"

Part prise dans l'encadrement : 50%

Financement : CIFRE

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse a pour objectif le dimensionnement et l'optimisation de structures de disjoncteurs en apportant notre savoir et savoir-faire en termes de stratégies, de méthodes et d'outils. Cette thèse a notamment été l'occasion de mettre en situation les approches de conception innovante type TRIZ exposées dans le tableau V.5.

Partenariat industriel : contrat CIFRE avec la société Hager (67 - Obernai)

Co-encadrement avec une autre équipe de recherche:

L'équipe modélisation du LEG.

Date de soutenance : prévue début 2008

Thèse de D. Duret:

Sujet des travaux :

"Méthodes et outils pour la conception de filtres ADSL"

Part prise dans l'encadrement : 33%

Financement : CIFRE

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse a pour objectif la réalisation d'un générateur permettant au concepteur de saisir une structure de filtre passif. On lui génère ensuite automatiquement le modèle calculant les performances de ces filtres ainsi que les sensibilités associées. Ceci permet de répondre au besoin du concepteur de disposer de formalismes permettant de générer des modèles pour le dimensionnement et les études de faisabilité de ces structures de filtres. Les applications visées sont des filtres pour l'industrie des télécommunications (filtre ADSL). Mais les méthodes et les outils conçus pourront être appliqués à tout type de filtre passif, notamment ceux utilisés dans les applications d'électronique de puissance ou de filtrage dans les réseaux électriques.

Partenariat industriel : contrat CIFRE avec la société Microspire (57 Thionville)

Co-encadrement avec une autre équipe de recherche:

L'équipe électronique de puissance du LEG.

Date de soutenance : non prévue par renoncement du candidat. Mais les méthodes et les outils logiciels ont été développés comme en témoigne la figure II.11.

Thèse de Hieu Nguyen Huu

Sujet des travaux :

« Méthodes et outils pour la conception de composants intégrés dans un réseau électrique embarqué »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Financement : bourse du ministère

Contenu et portée des travaux :

En conception en génie électrique, un enjeu scientifique majeur est le dimensionnement et l'optimisation de systèmes. Sachant qu'un système est un assemblage de composants, une première stratégie consiste à optimiser les composants hors du système. Mais cette approche n'est pas optimale car l'optimum du système n'est pas égal à l'optimum de ses composants. Une seconde stratégie consiste à optimiser simultanément tous les composants dans le système. Mais ceci aboutit trop souvent à des problèmes avec trop de degrés de libertés, qui ne peuvent plus être résolus.

L'objectif du sujet est d'explorer les méthodes qui vont permettre d'optimiser les composants électrotechniques en dehors du système, tout en ayant encore des degrés de libertés de dimensionnement dès lors qu'on assemblera ces composants dans un système. Une voie possible est l'utilisation des courbes de Pareto qui permettent de représenter l'ensemble des compromis possibles pour un composant. Disposer de ces courbes va permettre de choisir le meilleur compromis dès lors que les composants seront intégrés dans le système.

Ces méthodes seront explorées dans le cadre des réseaux électriques de bord, mais le potentiel d'application est immense et touche tous les domaines du génie électrique (conception des composants de puissance dans un convertisseur, conception de microsystèmes multi-composants, ...), voire de l'ingénierie où il devient crucial de savoir passer du composant au système. Cette thèse explore par ailleurs d'autres approches pour le dimensionnement de systèmes du génie électrique en aéronautique notamment dans le cadre d'une étude réalisée avec Airbus intitulée « Optimisation du dimensionnement d'un canal de puissance » (voir partie « Contrats & Projets » de la partie « Transfert technologique, relations industrielles et valorisation »).

Co-encadrement avec une autre équipe de recherche:

L'équipe Système et Réseaux Electriques du G2ELAB.

Date de soutenance : soutenance prévue en septembre 2008

Thèse de G. Foggia

Sujet des travaux :

« Gestion optimale de l'énergie dans des systèmes multi-sources et multi-énergie dans le bâtiment »

Financement : Bourse GIE

Part prise dans l'encadrement : 30%

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse doit porter sur le dimensionnement l'optimisation du pilotage de systèmes de type bâtiment. Elle marque pour nous une orientation vers l'application de nos approches de conception aux grands systèmes (cf. un réseau d'un bâtiment avec un pilotage optimal de toutes les sources et les charges de cette maison).

Co-encadrement avec une autre équipe de recherche:

L'équipe Système et Réseaux Electriques du G2ELAB.

Date de soutenance : soutenance prévue en septembre 2008

Thèse de E. Petre

Sujet des travaux :

« Dérivation de code pour le calcul de sensibilité de modèles de dispositifs du génie électrique »

Financement : Bourse du ministère

Part prise dans l'encadrement : 50 %

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse doit aboutir à une nouvelle génération de générateur pour le framework CADES par extension des possibilités de formalismes mathématiques pour lesquels nous serons en mesure de calculer les gradients de manière formellement exact. Il

s'agit de développer un langage permettant de décrire des modèles mathématiques de dispositifs du génie électrique, et d'être capable de les dériver de façon formellement exacte. Pour cela, les techniques de dérivation de code seront notamment utilisées.

Date de soutenance : soutenance prévue en septembre 2009

Thèse de D. Thai Phuong

Sujet des travaux :

« Prise en compte des phénomènes transitoires dans les modèles basés sur les réseaux réductances pour le dimensionnement des dispositifs électromécaniques »

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse est le prolongement de la thèse de B. Du Peloux. Elle vise à poursuivre les développements autour de la plate-forme Reluctool ([WFL-04]. La figure II.12 donne un aperçu de ce logiciel) avec les objectifs scientifiques suivants :

- étendre les capacités des formalismes métiers de sorte à pouvoir calculer les régimes transitoires dans les dispositifs modélisés par réseaux de réductances,
- ceci doit plus particulièrement permettre de calculer avec précision les pertes, et par suite les rendements des dispositifs modélisés. Ceci permettra dès lors de faire de Reluctool une plate-forme de capitalisation et d'échanges de formalismes de modèles de calcul de pertes dans les dispositifs électromagnétiques. C'est notamment dans cet objectif, que nous nous sommes associés avec le laboratoire Ampère de Lyon qui est un spécialiste de ce genre d'approche.

Cette thèse répond ainsi à des objectifs scientifique, tout en répondant à des enjeux industriels, puisque Schneider Electric finance ces travaux, intéressé par la perspective de disposer d'une plate-forme logicielle de calcul et de dimensionnement par le formalisme réseaux de réductances, et avec une capitalisation et diffusion des modèles possibles pour les calculs de pertes.

Financement : Thèse CIFRE

Part prise dans l'encadrement : 25% en étant le directeur officiel de thèse par dérogation

Co-encadrement:

Co-encadrement avec le laboratoire Ampère de Lyon L. Morel et F. Sixdenier

Date de soutenance : soutenance prévue en janvier 2010

Thèse de G. Warkosek

Sujet des travaux :

« Méthodes et outils pour la gestion optimale énergétique dans les réseaux en vue du dimensionnement et de la gestion optimale – Application à un réseau électrique reliant un ensemble de bâtiments »

Contenu et portée des travaux :

Cette thèse va se dérouler au G2ELAB (Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble), entre l'équipe « Modèles et Méthodes appliquées au Génie Electrique » et l'équipe « Systèmes et Réseaux Electriques », le tout en lien avec le laboratoire Grenoblois G-SCOP (Laboratoire des Sciences pour la Conception et l'optimisation). Dans ce cadre de recherche un certain nombre de travaux précédents ont déjà eu lieu autour de la problématique de dimensionnement et de gestion optimale à l'intérieur d'un bâtiment multi-sources d'énergie (photo-voltaïque solaire, réseau électriques, ...) et multi-charges pilotable. (chauffage, électroménager, ...). Ces premiers travaux ont donné lieu au développement de modèles, d'algorithmes implantés dans des outils logiciels prototype. L'ambition de la thèse est double :

- Il s'agit d'une part d'une problématique d'informatique avancée. L'idée est de réfléchir à la réalisation d'une plate-forme logicielle qui va permettre de capitaliser les modèles et méthodes développées précédemment.

- Il s'agit d'autre part de s'appuyer sur cette plate-forme logicielle pour s'intéresser à la problématique de dimensionnement et de gestion de l'énergie dans un ensemble de bâtiments qui seront reliés par un réseau électrique

L'ambition est d'aboutir ainsi à une plate-forme logicielle d'informatique avancée pour les problèmes de dimensionnement et de gestion optimale de réseau d'énergie, en développant les questions scientifiques suivantes

- la capitalisation de modèles de composants et de réseau
- des méthodes pour dimensionner de façon optimale, puis piloter de façon optimale le réseau
- des patrons pour formuler les problèmes de dimensionnement et de gestion optimale (en intégrant les contraintes techniques, mais aussi économiques, environnementale), ...

On veillera notamment à développer des solutions scientifiques qui permettront d'atteindre des propriétés de reconfigurabilité : il s'agit de pouvoir très rapidement traiter de nouveaux problèmes résultant d'ajout ou de suppression de composants dans le réseau, de modification des conditions d'exploitation du réseau (nouvelles conditions tarifaires, nouvelles conditions météorologiques, ...).

Financement : Bourse du gouvernement syrien

Part prise dans l'encadrement : 50% en étant le directeur officiel de thèse par dérogation

Co-encadrement:

Co-encadrement avec S. Ploix du laboratoire G-SCOP

Date de soutenance : soutenance prévue en septembre 2010

Encadrement de travaux post Doctorants

Post-doctorat de Ha.pham-Thi-Thu

Sujet des travaux : Ce post-doctorant se déroule sur 2 années (2006-2008). Il vise à développer dans le cadre du projet Multisol (voir partie V.d.2 Recherche sur les méthodes de conception par l'usage et Figure V.5), des systèmes de dimensionnement optimal, et de prévision optimal de la gestion de l'énergie, dans des bâtiment alimentés par plusieurs d'énergie

Encadrement de travaux de DEA et de Masters

1- DEA de S. Bergeon

Sujet des travaux : "Contribution à la génération automatique d'un logiciel de modélisation par éléments finis"

Encadrement à 50%, le DEA a été soutenu au mois de septembre 1994

2- DEA de M. Richomme :

Sujet des travaux : "Utilisation d'un algorithme génétique en vue du dimensionnement d'une machine électrique"

Encadrement à 100%, le DEA a été soutenu au mois de septembre 1995

3 - DEA de M. Perrault :

Sujet des travaux : « Optimisation d'un déclencheur à noyau plongeur. Intérêt de l'approche PASCOSMA »

Encadrement à 100%, le DEA a été soutenu au mois de septembre 1998

4 - DEA de F. Rageade

Sujet des travaux : « Etude de l'approche composant logiciel pour un environnement de conception en Génie Electrique »,

Encadrement à 100%, le DEA a été soutenu au mois de septembre 1999

5- DEA de B. Morel

Sujet des travaux : « Outil et méthodologie de dimensionnement d'un déclencheur électrique à double entrefer »,
DEA fait dans le cadre d'un contrat avec Schneider Electric »,
Encadrement à 10%, le DEA a été soutenu en septembre 2000

6 - DEA de Augustin Delale

Sujet des travaux : « Réalisation d'un générateur de modèles de dimensionnement pour dispositifs électromagnétiques à partir de réseaux de réluctances »,
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - septembre 2002

7 - DEA de N'guessan Kahan

Sujet des travaux : « Optimisation d'un déclencheur par des méthodes numériques et analytiques »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - septembre 2004

8 - DEA de L. Rakotoarison

Sujet des travaux : « Méthodes et outils pour le dimensionnement de microsystèmes magnétiques »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - septembre 2004

9 - DEA de H. Chetouani

Sujet des travaux : « Choix d'outils et de structures pour les microsystèmes magnétiques »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - septembre 2004

10 - DEA de E. Dezille

Sujet des travaux : « Dérivation de Code pour des modèles analytiques en Génie Electrique »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - septembre 2004

11 - Master recherche de Tran Tuan Vu

Sujet des travaux : « Optimisation d'un SMES », un SMES étant une bobine de stockage d'énergie électrique utilisant du matériaux supraconducteur
Part prise dans l'encadrement : 33%
Période : février - juin 2005

12 - Master recherche de Hieu Nguyen Huu

Sujet des travaux : « Utilisation des courbes de Pareto pour l'optimisation de composants électrotechniques intégrés dans des systèmes - Applications aux réseaux électriques embarqués »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - juin 2005

13 - Master recherche de A. Chandoul :

Sujet des travaux : « Gestion des connaissances en conception - Application au dimensionnement en électrotechnique »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - juin 2005
Master fait dans le cadre de l'école doctorale Master Management Stratégique et Génie des Organisations à l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel de Grenoble

14 - Master recherche de A. Belaidi:

Sujet des travaux : « Contribution aux spécifications d'un environnement de conception collaborative des structures électromécaniques »
Part prise dans l'encadrement : 50%
Période : février - juin 2005
Master fait dans le cadre de l'école doctorale Master Management Stratégique et Génie des Organisations à l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel de Grenoble

15 - Master recherche de S. Aysegul:

Sujet des travaux : « Ingénierie de la connaissance appliquée à la capitalisation pour la conception en génie électrotechnique »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Période : février – juin 2006

16 - Master recherche NGUYEN NHAT Tung

Sujet des travaux : « Gestion optimale de charge dans un Consommateur Virtuel »

Part prise dans l'encadrement : 20%

Période : février – juin 2006

17 - Master recherche L. Balzano

Sujet des travaux : « Conception, modélisation, et optimisation d'un système électromagnétique de pilotage de soupapes de moteur thermique (par décalage angulaire des arbres à cames) »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Période : février – juin 2006

18 - Master recherche G. Warkosek

Sujet des travaux : « Méthodes et outils pour l'optimisation des réseaux électriques »

Part prise dans l'encadrement : 70%

Période : février – juin 2007

19 - Master recherche Ngo Lan Huong :

Sujet des travaux : « Mise en oeuvre et développement d'un environnement de modélisation par réseaux de réductances »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Période : février – juin 2007

20 - Master recherche K. Ouakani

Sujet des travaux : « Utilisation des « wiki » ou des forums pour le partage de connaissances sur les modèles de calcul »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Période : : février – juin 2007

21 - Master recherche A. Chammakhi

Sujet des travaux : « Conception innovante et par l'usage pour le génie électrique »

Part prise dans l'encadrement : 50%

Période : février – juin 2007

Bibliographie

- [ACH-04] N. ACHOTTE, "Conception, optimisation et dimensionnement d'un micromoteur planaires à aimants permanent pour drones miniatures en vol stationnaire », thèses de Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 30 septembre 2005
- [ALA-03] L. ALAIN, "Capitalisation Et Traitement Des Modèles Pour La Conception En Genie Electrique", Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, spécialité Génie Electrique, 30 septembre 2003
- [ALB-04] L. ALBERT, "Modélisation et optimisation des alternateurs à griffes. Application au domaine automobile" Thèse de l'Institut Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Electrique, 13 juillet 2004
- [ALG-70] P. L. ALGER, "Induction Machines", ed. Gordon and Breach Science Publishers, 150 Fifth Avenue, New-York, 518 pages, 1970
- [ALI-03] F. ALIN, B. ROBERT AND C. GOELDEL, "Vers le contrôle du chaos dans le moteur pas à pas", EF'2003 Électrotechnique du futur 9 et 10 décembre 2003 Supélec
- [AMA-07] I. AMMAR, " Conception collaborative en génie Electrique: spécification par l'usage et réalisation d'un environnement d'aide au dimensionnement", Thèse de l'Université Joseph Fourier, spécialité Génie Electrique, 23 janvier 2007
- [AME] Logiciel Amesim commercialisé par la société Imagine <http://www.amesim.com/>
- [ALA-03] L. ALLAIN, "Capitalisation Et Traitement Des Modeles Pour La Conception En Genie Electrique", Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, spécialité Génie Electrique, 30 septembre 2003
- [AND-04] D. ANDLER, "Logique, raisonnement et psychologie", pp. 315-400, dans "Introduction aux sciences cognitives", édition folio, collection Essais, 2004, ISBN 2-07-030078-1
- [ATI-03] E. ATIENZA, "Méthodologie et outils pour le dimensionnement", thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 4 juillet 2003
- [AYS-06] S. AYSEGUL, "Ingénierie de la connaissance appliquée à la capitalisation pour la conception en génie électrotechnique", MASTER Recherche 2^{ième} année Management Stratégique et Génie des Organisations Spécialité « Génie Industriel », 27 juin 2006
- [BAI-04] Y. BAIZET « La gestion des connaissances en conception Application à la simulation numérique chez Renault-DIEC », Thèse de l'Université de Joseph Fourier, Spécialité Mécanique, Grenoble, 2004
- [BAL-05] G. BALMISSE, "Guide des outils du Knowledge management, panorama, choix et mise en œuvre", Editions Vuibert, Collection *Entreprendre Informatique*, Avril 2005
- [BAL-06] E. BALIBAR ET P. MACHEREY, "Déterminisme", article de l'Encyclopaediae Universalis, édition CD-ROM, version 2006
- [BAR-03] DOUGLAS K. BARRY, "Web Services and Service-Oriented Architectures: The Savvy Manager's Guide", San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003, ISBN 1-55860-906-7
- [BARB-02] F. BARBIER, C. CAUVET, M. OUSSALAH, D. RIEU, S. BENNASRI, C. SOUVEYET "Composants dans l'ingénierie des systèmes d'information : concepts clés et techniques de réutilisation", actes des deuxièmes assises nationales du GdR I3 (Information - Interaction - Intelligence). Nancy, déc. 2002
- [BEL-00] B. BEL HABIB, " Méthodologies pour le développement de Plates Formes Intégrées dédiées à la Conception en Génie Electrique ", Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 13 juillet 2000
- [BEL-05] 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
- [BET-95] F. BETIN, "Contribution à la commande en boucle fermée des moteurs pas à pas. Commandes adaptatives, neuronales et floues", Thèse de doctorat de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, 6 décembre 1995
- [BIT-07] M. BITBOL, "Les lois physiques existent-elles ? – La nature est-elle un puits sans fond ? ", La recherche, N° 405, février 2007, pp.30-36
- [BOO-54] G. BOOLE, "An Investigation into the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities ", 1854
- [BRA-89] S. BRASSARD, "Méthodologie et modélisation floue des connaissances dans l'activité de conception en électrotechnique", Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, 22 septembre 1989
- [CAB-05] P. CABIN, B. CHOC, "Les organisations – Etat des savoirs", Editions Sciences Humaines, 2005, ISBN 2-912601-33-9
- [CAV-TI] D. CAVALUCCI, "TRIZ : l'approche Alschullerienne de la créativité", Techniques de l'ingénieur, pages A 5211 – 1 à 18
- [CER-06] J.C. CERISIER, "Ionosphère", Encyclopaediae Universalis, édition CD-ROM, version 11, 2006

- [CHA-04] A. CHANDOUL, "Gestion des connaissances en conception - Application au dimensionnement en électrotechnique", MASTER Recherche 2^{ème} année Management Stratégique et Génie des Organisations Spécialité « Génie Industriel », 27 juin 2004
- [CHAU-97] J. M. CHAUVET, "Corba, ActiveX et Java Beans", Eyrolles Informatique, ISBN 2-212-08950-3, 1997
- [CHE-04] H. CHETOUANI, "Choix de structures et outils pour les microsystèmes magnétiques», Master de Génie Electrique, Collège Doctoral EEATS de l'INPG Grenoble, Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, juin 2004
- [CHH-92] S. M. CHHAYA, B. K. BOSE, "Expert system based automated design technique of a voltage-fed inverter for induction motor drive", In Conference record of the IEEE Industrial application society annual meeting, volume 1, pages 770,778, Houston, October 1992
- [CHR-04] H. CHRISTOFOL, S. RICHIR, H. SAMIER, « L'innovation à l'ère des réseaux », éditions Hermès Lavoisier, 2004, ISBN : 2-7462-0924-1
- [CIAR-90] P.G. CIARLET, ""Introduction à l'analyse numérique matricielle et à l'optimisation", Dunod, 1990, pp. 142
- [COU-85] J.L. COULOMB, J.C. SABONNADIÈRE, "CAO en Electrotechnique", Hermès Publishing, 1985, ISBN-2-86601-050-7
- [COU-99] C. COUTEL, "Contribution Méthodologique à La Conception sous Contraintes de Dispositifs Electromagnétique", Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, 20 octobre 1999
- [CRE-97] D. CREVIER, "A la recherche de l'intelligence artificielle", éditions Flammarion, collection Nouvelle Bibliothèque Scientifique, ISBN : 2-08-211217-9, 1997 traduction en français de « The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence »
- [CUL-94] J. C. CULIOLI, "Introduction à l'optimisation", Ellipses-Marketing, Paris, France, 1994
- [DAR-04] F. DARSE, "Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception: contribution de la psychologie ergonomique", Habilitation à Diriger des Recherches, 16 décembre 2004, Université Paris V – René Descartes.
- [DEC-37] R. DESCARTES, "Le discours de la méthode", 1637
- [DEL-03] B. DELINCHANT, " Un Environnement à base de Composants, Intégrant le Concepteur et ses Outils, pour de Nouvelles Méthodes de CAO ", Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, 10 juillet 2003
- [DEL-05] B. DELINCHANT, N. BERNARD, E.H.ZAIM, "Interactions entre modélisation et dimensionnement. Application aux Machines Rapides", Conférence Electrotechnique Du Futur (EF'2005)
- [DEL-93] J. DELAMARE, E. RULLIERE, AND J. P. YONNET, "3D Calculation of permanent magnet interaction," in Proc. IMACS TC, 1993, pp. 289–292.
- [DEZ-04] E. DEZILLE, "Dérivation de Code pour des modèles analytiques en Génie Electrique », Master de Génie Electrique, Collège Doctoral EEATS de l'INPG Grenoble, Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, 23 septembre 2004
- [DUP-06] B. DU PELOUX, " Modélisation des actionneurs électromagnétiques par réseaux de reluctances. Création d'un outil métier dédié au prédimensionnement par optimisation", Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, 9 octobre 2006
- [DUR-06] D. DURET, L. GERBAUD, B. DU PELOUX, F. VERDIÈRE, H.L. RAKOTOARISON, "A Generator of Software Components dedicated to the Optimization of Engineering Systems", OIPE'2006 (Optimization and Inverse Problem in Electromagnetism), Sorrento, Italy, 13-15 September 2006 (2 pages)
- [EFI-04] L. EFIMOVA, "Discovering the iceberg of knowledge work: A weblog case", The fourth European Conference on Organizational Knowledge, Learning, and Capabilities (OKLC'2004), available at <https://doc.telin.nl/dscgi/ds.py/Get/File-34786>
- [ESC-96] E. ESCANDE, "Modélisation objet du processus de conception dans le domaine du génie électrique: application au cas de la machine asynchrone", , Thèse préparée à l'INPG spécialité génie électrique, LEG (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble), ST Martin d'Hères, France, Décembre 1996
- [ESP-03] B. d'ESPAGNAT, "Traité de physique et de philosophie" Edition Fayard, ISBN : 2-213-61190-4, 2003
- [ESPA-98] C. ESPANET, "Modélisation et conception optimale de moteur sans balais à structure inversée. Application au moteur roue », thèse de Doctorat, janvier 1998, université de Franche Comté
- [FAS-01] M. FASSETNET, "Modélisation et conception optimale de moteurs à courant continu à aimants permanents", Thèse de docteur de l'université de Franche-Comté en Sciences pour l'Ingénieur, 14 mai 2001
- [FAS-03] M. FASSETNET, "Optimal design of DC PM motor intended to an automotive application. Description of the optimization procedure" .Revue Internationale de Génie Electrique, RIGE, Vol 6/3-4, 2003, pp 351-356

- [FER-20] V. FERNANDEZ, J. FANDINO, C. SAUVEY, J.P. YONNET, G. REYNE, O. GUGAT, "A Design Methodology for Permanent Magnet Microbearings", IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000
- [FEZ-97] D. FEZZANI, H. PIQUET, H. FOCH, "Expert system for the CAD in power electronics - application to UPS", IEEE Transactions on Power Electronics, 12(3) :578,586, May 1997
- [FIS-04] V. FISCHER, "Composants logiciels pour le dimensionnement en Génie Electrique – Application à la résolution d'équations différentielles" Thèse de l'Institut Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Electrique, 12 octobre 2004
- [FLU] Logiciel Flux2D et Flux3D commercialises par la société CEDRAT, <http://www.cedrat.com/software/software.htm>
- [FRA-94] F. FRANCOIS, "Contribution de la modélisation floue à la conception en génie électrique", Thèse de docteur, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1994
- [GEN-91] A. GENTILHOMME, "C.O.C.A.S.E un système d'aide à la conception d'appareillage électriques", Thèse de docteur, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1991
- [GER-99] L. GERBAUD, J. BIGEON, A. BOLOPION, B. BEL HABIB, "A symbolic model including numerical aspects for the constrained sizing of static converter", IEEE-IECON'99 (International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation), San Jose, CA, USA, November 29th - December 3rd, 1999, pp 656-661 (6 pages), ISBN 0-7803-5735-3
- [GER-00] L. GERBAUD, J. BIGEON, "Elaboration d'un modèle mixant des approches symboliques et numériques pour le dimensionnement des convertisseurs statiques : problème particulier des intégrales semi-numériques des formules efficaces et moyennes", Revue Internationale de Génie Electrique, version longue de l'article présenté à Numelec'2000, vol. 4/2001, pp 77-104, (28 pages)
- [GER-93] L. GERBAUD, "Aide à la conception des ensembles machine – convertisseur – commande : Apport d'une d »marche système expert", thèse de doctorat spécialité génie électrique de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 23 avril 1993, pp. 1221- 1241
- [GOD-59] C. G. GODWIN, "Optimum Machine Design by Digital Computer", AIEE Transactions, August 1959, pp. 478-487
- [GOD-89] NAGEL E., NEWMANN J. R., GÖDEL K., GIRARD J. Y., "Le théorème de Gödel", Editions du seuil, collection points sciences, ISBN 2-02-0327786-3
- [GOL-94] D. E. GOLDBERG, « Algorithmes Génétiques, Exploration, Optimisation et Apprentissage Automatique », Ed. Addison-Wesley France, 1994, ISBN 2-87908-054-1
- [GIT-89] Gitosusastro, S., Coulomb, J.L., Sabonnadiere, J.C.: "Performance Derivative Calculations And Optimization Process", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.25, No 4, July 1989,pp.2834-2839
- [GRIB-94] J. GRIBBIN, « LE CHAT DE SCHRÖDINGER : Physique quantique et réalité », Champs Flammarion, 1994, ISBN 2-08-081312-9
- [GRU-03] M.GRUNDSTEIN, "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
- [GUI-01] – J.M. GUICHON, "Modélisation, caractérisation, dimensionnement de jeux de barres" Thèse de l'Institut Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Electrique, 19 novembre 2001
- [HAR-87] Harwell, "Routine Library Specification", VF13, 10th October 1987
- [HAT-02] A. HATCHUEL, « Towards Design Theory and expandable rationality : The unfinished program of Herbert Simon », Journal of Management and Governance 5(3-4), 2002, 12 p.
- [HAT-02a] A. HATCHUEL, B. WEIL, « La théorie C-K : fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception », Colloque sciences de la conception, Lyon, 15-16 mars 2002
- [HAT-03] A. HATCHUEL, B. WEIL (2003), « A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory », ICED'03, august 2003, Stockholm, Sweden: 14
- [HAT-04] A. HATCHUEL, Le Masson P. & Weil B. (2004), "C-K Theory in Practice: Lessons from Industrial Applications", 8th International Design Conference, D. Marjanovic, (Ed.), Dubrovnik, 18th-21st May 2004: 245-257
- [HAT-92] A. HATCHUEL, B. WEIL, "L'expert et le système", Editions Economica, ISBN : 2-7178-2250-X, 1992
- [HOF-04] M. HOFMAN, "Criteria for Decomposing Systems Into Components in Modeling and Simulation : Lessons Learned with Military Simulations", Simulation, Transactions of The Society for Modeling and Simulation International, Volume 80, Number 7-8, July-August 2004, pp. 357-364
- [HIEU-05] H. NGUYEN HUU, "Utilisation des courbes de pareto pour l'optimisation de composants electrotechniques integres dans des systemes. applications aux réseaux électriques embarques", rapport du MASTER EEATS-INPG/UJF GRENOBLE, Institut National Polytechnique de Grenoble, 20 juin 2005
- [JAN-05] B. JANCOVICI, B. J. ALDER , " Statistique (Mécanique) ", article de l'Encyclopediae Universalis, édition CD-ROM, version 11, 2005

- [JEA-98] A. JEANTET, "Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception", A. Jeantet, Sociologie du travail, n°3, pp.291-316, 1998
- [JOK-02] T. JOKINEN, «How to find new and fresh ideas », OIPE'2002, VII-International Workshop on Optimization and Inverse Problems in Electromagnetism", Conference Proceedins (Digest), 12-14 September 2002, Lodz – Poland, pp. 1-8
- [JUF-85] M. JUFER, "Transducteurs électromécaniques", Vol 9, Traité d'électricité Lausanne: Presses polytechniques romandes, 1985
- [JUR-00] M.B. JURIC, A. ZIVKOVIC, I. ROZMAN, « Performance Comparison of CORBA and RMI », Information and Software Technology Journal, Elsevier Science, October 2000, vol. 42, no. 13, pg. 915-933
- [KAD-93] K. KADDED, "Optimisation de formes de machines électriques à l'aide d'un logiciel éléments finis et de la méthode des pénalités intérieures étendues", Thèse de docteur, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1993
- [KAN-81] « Critique de la raison pure », E. Kant, 1781
- [KON-93a] A.D. KONE, B. NOGAREDE, M. LAJOIE MAZENC, "Le dimensionnement des actionneurs électriques: un problème de programmation non linéaire", Journal de Physique III, Février 1993, pp. 285-301
- [KON-93b] A. D. KONE, "Contribution à la conception des actionneurs électriques par formulation en termes d'optimisation », Thèse de docteur, Institut National Polytechnique de Toulouse, 1993
- [KOZ-96] J.R. KOZA, F.H. BENNETT, D. ANDRE, AND M.A. KEANE, "Automated WYSIWYG design of both the topology and component values of analog electrical circuits using genetic programming, In Genetic programming 1996", Proceedings of the first annual conference, pages 123,131, 1996
- [KUH-62] T.KUHN, "La structure des révolutions scientifiques", Flammarion, ISBN 2-08-081115-0, 1983, Traduction de « The structure of scientific revolution », publié en 1962 par l'université de Chicago
- [LAN-06] O. LANGLOIS, "Conception d'un réseau de secours électrique pour l'aéronautique", thèse de docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 22 juin 2006
- [LAT-95] B. LATOUR, "La science en action – Introduction à la sociologie des sciences", La découverte/Poche, collection Sciences humaines et sociales ISBN 2-7071-4546-7, 2005, ré-édition de 1989
- [LAU-07] R. LAUGHLIN, "Les lois physiques ressemblent à un tableau impressioniste ", interview, La recherche, N° 405, février 2007, pp.38-40
- [LEM-99] J.L. LE MOIGNE, "Les épistémologies constructivistes", Collection « Que sais-je ? », PUF. ISBN 2 13 0469943 3, 1999
- [LEM-99a] J.L. LE MOIGNE, "La Modélisation des systèmes complexes", Editions Dunod, 1999, ISBN : 2 10 004382
- [LEV-84] E. Levy, « Polyphase Motors, A Direct Approach to Their Design», John Wiley&Sons, ISBN 0 471-89866-X
- [LON-04] P. LONCHAMPT, "Co-évolution et processus de conception intégrée de produits :Modèle et support de l'activité de conception. ", Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, Spécialité Génie Industriel, 29 juin 2004
- [LOW-95a] D. LOWTHER, "The Automated Design of Electromagnetic Devices - Fact or Fiction?", International Compumag Society Newsletter, Vol. 2, No. 2, pp. 6-9, 12 june 1995
- [LOW-95b] D. LOWTHER, "Knowledge Based system I", Workshop on Applications of Intelligent Systems Techniques to Optimal Design of Electromagnetics Devices, July 9, 1995 (0900-1700), Berlin
- [MAC-03] M. MACHMOUM ET AL., "Comparaison de structures électromagnétiques pour une application en générateur à faible vitesse et fort couple", EF'2003 Électrotechnique du futur 9 et 10 décembre 2003 Supélec
- [MAG-04] D. MAGOT, "Méthodes et outils logiciels d'aide au dimensionnement. application aux composants magnétiques et aux filtres passifs", thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 28 septembre 2004
- [MAT] Logiciel Matlab – Simulink commercialisé par la société Mathworks, <http://www.mathworks.com/>
- [MAX-04] O. MAXANT, G. PIAT, Benoît ROUSSEL, "Thinking, Elaborating And Evaluating Future Offers Without Development In User Oriented Design Process", IAMOT 2004 (13th International Conference on Management of Technology), April 3-7 2004, Washington DC USA (disponible sur <http://arago.cprost.sfu.ca/~iamot/conference/viewabstract.php?id=1120&cf=4>)
- [MEI-97] T.D. MEIJLER AND O. NIERSTRASZ, "Beyond Objects: Components," Cooperative Information Systems: Current Trends and Directions, M.P. Papazoglou and G. Schlageter (Eds.), pp. 49-78, Academic Press, November 1997
- [MEM-03] D. MEMMI, "Information, Connaissances et Informatisation", Les cahiers du laboratoire Leibniz, n°87, Juin 2003 Laboratoire Leibniz-IMAG, 46 av. Félix Viallet, 38000 GRENOBLE, France - n° 87, ISSN : 1298-020X, <http://www-leibniz.imag.fr/LesCahiers/>

- [MES-97] F. MESSINE, "Méthodes d'Optimisation Globale basées sur l'Analyse d'Intervalle pour la résolution de Problèmes avec Contraintes", thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Spécialité informatique, 26 septembre 1997
- [MES-07] V. MESTER, "Conception Optimale Systémique des Composants des Chaînes de Traction Electrique", thèse de l'école Centrale de Lille, Spécialité informatique, 22 mai 2007
- [MET-06] METZ S., RENAUT C., CASSIER J-L., "Distant co-design among professionals: a proposal for existing activities classification", in R.N. Pikaar Eur.Erg., E.A.P. Koningsveld Eur.Erg. and P.J.M. Settels Eur.Erg. Meeting diversity in Ergonomics, ISSN 0003-6870, Elsevier Ltd, (2006)
- [MIC-03] J.P. MICAËLLI, J. FOREST, "Artificialisme: introduction à une théorie de la conception", Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2003
- [MIC-85] D. MICHIE ET R. JOHNSTON, "The Knowledge Machine – Artificial Intelligence and the Future of Man", New York, William Morrow, 1985
- [MOL-99] E. MORIN, "L 'Intelligence de la Complexité", J.L. Lemoigne, Éditions, L 'Harmattan , ISBN 2-7384-8085-3, 1999
- [MOR-02] E. MORIN, "Le paradoxe de l'observateur-concepteur", résumé issu de la conférence "Les sciences de la conception, Enjeu Scientifique du XXIème siècle", Insa Lyon, 15-16 mars 2002
- [MOR-77] E. MORIN, "La méthode", en 4 tomes, ("1. La Nature de la Nature", "2. La Vie de la Vie", "3. La Connaissance de la Connaissance", "4. Les Idées"), Editions du Seuil
- [NGU-04] K. NGUESSAN, "Optimisation d'un déclencheur par méthode analytique et numérique", Master Recherche de Génie Électrique de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, septembre 2004
- [NON-95] I. NONAKA, H. TAKEUCHI, "The knowledge-Creating Company : How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation ", Oxford University Press, 1995. Édition en langue française (traduction de Marc Ingham) : La connaissance créatrice. La dynamique de l'entreprise apprenante. De Boeck Université S.A., 1997
- [ORF-98] R. ORFALI, D. HARKEY, « Client/Server Programming with JAVA and CORBA », Second Edition, Editeur: Wiley, ISBN: 0-471-24578-X
- [PAH-77] PAHL, G., & BEITZ, W. (1995). Engineering design. A systematic approach (K. M. Wallace, L. Blessing& F. Bauert, Trans. 2nd, enlarged and updated ed.; orig. ed. 1977). London: Springer
- [PEA-87] F. PEABODY, D. W. NYBERG, W.G. DUNFORD, "The Use of a Spreadsheet Program to Design Motors on a Personnal Computer", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. IA-23, No. 3, May/June 1987, pp. 520-525
- [PEN-97] R. PENROSE, "Les ombres de l'esprit", Editions Dunod, 1997, ISBN : 2 7296 558 4
- [POP-34] K.R. POPPER (1934), « Logik der Forschung, Springer Verlag », Vienne.Tr. angl., « The Logic of Scientific Discovery », Hutchinson, Londres,1959. Trad. tr., « La logique de la découverte scientifique », traduction par N. Thyssen- Rutten et P. Devaux, Payot, 1973.
- [POW-82] M. J. D. POWELL, "Extension to subroutine VF02D", in System Modeling and Optimization, Lecture Notes in Control and Information Science 38, eds. R. F. Drenick and F. Kozin, Springer-Verlag (Berlin), 1982, pp. 529-538.
- [POW-85] M. J. D. POWELL, "On the quadratic programming algorithm of Goldfarb and Idnani", Mathematical Programming Study 25 (1985), pp. 46-61
- [PRU-01] G. PRUDHOMME, J.F.BOUJUT ET F.POURROY, "Activités de conception et instrumentation de la dynamique des connaissances locales, Ingénierie des Connaissances", Plate-forme AFIA, Presses Universitaires de Grenoble, pp. 41-60, 2001.
- [RAK-04] H. J. RAKOTOARISON, "Dérivation Méthodes et outils pour le dimensionnement de microsystèmes magnétiques », Master de Génie Electrique, Collège Doctoral EEATS de l'INPG Grenoble, Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, 25 juin 2004
- [RAM-71] R. RAMARATHNAM, B.G. DESAI, "Optimization of polyphase induction motor design - a nonlinear programming approach", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,VOL. PAS-90, No 2, MARCH/APRIL 1971, pp. 570-578
- [RAM-73] R. RAMARATHNAM, B.G. DESAI, and V. SUBBA RAO, "A comparative study of minimization techniques for optimization of induction motor design", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,VOL. PAS 92, No 5, SEPTEMBER/OCTOBER 1973, pp. 1448-1454
- [REG-03] J. REGNIER, "Conception de systèmes hétérogènes en Génie Electrique par optimisation évolutionnaire multicritère », thèse de l'Institut Polytechnique de Toulouse, 18 décembre 2003
- [RIC-95] M. RICHOMME, "Utilisation d'un algorithme génétique en vue du dimensionnement d'une machine électrique", D.E.A. du LEG (Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble), Institut National Polytechnique de Grenoble, 19 septembre 1995
- [ROB-00] B. ROBERT, M.-C. MARION-PERA, C. GOELDEL, "Dynamiques apériodiques et chaotiques du moteur pas à pas". Revue Internationale de Génie Electrique, Vol.3, pages 375-410, 2000

- [ROB-01] B. ROBISSON, "Découverte automatique de circuits en électronique de puissance", Thèse de docteur en Sciences de l'Université de Paris 6, 21 septembre 2001
- [ROT-41] H. ROTERS, "Electromagnetic devices", New-York, USA : John Wiley and Sons, 1941
- [RUI-05] G. A. RUIZ DOMINGUEZ, "Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, Spécialité Génie Industriel, Grenoble, 2005
- [SAL-88] R. R. SALDANHA, "Optimisation en Electromagnétisme par application conjointe des Méthodes de Programmation Non linéaire et de la Méthode des Eléments Finis", Thèse de docteur, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1988
- [SAR-06] B. SARENI, "Conception simultanée par optimisation des systèmes d'énergie électrique", manuscrit d'habilitation à diriger des recherches, Institut National Polytechnique de Toulouse, 20 décembre 2006
- [SAU-00] C. SAUVEY, "Environnement de conception pour machines à réluctance variable", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, le 7 septembre 2000
- [SCH-97] V. SCHWACH, « L'usage : approche psychologique », Programme SENS, Paris. Ministère de l'industrie de la poste et des télécommunications, (1997). L'ingénierie centrée sur l'homme, Paris, 1997
- [SCV-95] "Hertz : comment il a révélé l'existence des ondes radio", Les cahiers de Science&Vie, Hors Série N°30, décembre 1995
- [SIM-69] H. A. SIMON, "Les sciences de l'artificiel, nouvelle édition", Ed Gallimard -col. Folio-Essai, 2004, ISBN 2 07 030152 4, traduit de « Sciences of Artificial » dont l'édition originale date de 1969
- [SOU-05] Y. SOUCHARD, "Réalisation d'une plate-forme informatique dédiée au métier du génie électrique autour des logiciels FLUX. Application à la réalisation de logiciels métiers.", thèse de docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 18 Novembre 2005
- [STEI-97] C.P. STEINMETZ, "The alternating current induction motor", AIEE Trans., 1897, vol. 14, pp. 185-217
- [SZY-98] C. SZYPERSKY, "Component Software – Beyond Object-Oriented Programming", Addison-Wesley, 1998
- [TIL-01] M.M. TILLER, "Introduction to physical modeling with Modelica", Kluwer Academic, Publishers, 2001, ISBN: 0792373677
- [TRI-91] F. TRICHON, Modélisation du processus de conception des machines électriques, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1991
- [TUR-95] A. TURING, J. Y. GIRARD, « La machine de Turing », éditions du seuil, collection points sciences, ISBN : 2-02-036928-1, 1995. On trouvera notamment dans cette ouvrage la traduction en français de 2 papiers fondamentaux de A. Turing : « On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem » publié en 1936 et posant les fondements de la machine de Turing, et « Computing Machinery and Intelligence », publié en 1956 et qui un article mythique proposant un test empirique pour l'intelligence d'un ordinateur dit test de Turing.
- [ULE-94] G. F. ÜLER, O.A. MOHAMMED, AND C.S. KOH, "Utilizing genetic algorithms for the optimal design of electromagnetic devices", IEEE Transaction on Magnetics, vol. 30, pp. 4296-4298, April 1994
- [VAS-94] J.A. DE VASCONCELOS, "Optimisation de forme de structures électromagnétiques", Thèse de docteur, Ecole Centrale de Lyon, 1994
- [VEI-57] C. G. VEINOTT, "Induction Machinery Design being Revolutionized by the Digital Computer", AIEE Transactions, Power Apparatus and systems, vol. 75, pp. 1509-1517, 1956
- [VEI-60] C. G. VEINOTT, "Synthesis of Induction Motor Designs on a Digital Computer"; AIEE Transactions, Power Apparatus and systems, vol. 79, pp. 12-18, 1960
- [VHDL] <http://www.vhdl.org/>
- [VIN-97] D. VINCK, "La connaissance, ses objets et ses institutions", Connaissances et savoir-faire en entreprise, ISBN 2-86601-627-0, Hermes, 1997
- [VIS-04] W. VISSER, "Dynamic Aspects of Design Cognition: Elements for a Cognitive Model of Design", INRIA, Rapport de recherche n° 5144 – Mars 2004 - 116 pages
- [WEN-02] – E. Wenger, R. McDermott, W.M. Snyder, "Cultivating Communities of Practice » - a guide to Managing Knowledge", Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, ISBN: 1-57851-330-8
- [WFC- ??] F. WURTZ, communication dans des actes de conférences, se reporter dans la partie "Production scientifique", rubrique « Actes de conférences à comité de lecture et proceedings »
- [WFR- ??] F. WURTZ, publication de revue, se reporter dans la partie « Production scientifique », rubrique "Revue à comité de lecture"
- [WFO- ??] F. WURTZ, chapitre d'ouvrages, se reporter dans la partie « Production scientifique », rubrique « Chapitres d'ouvrages publiés »
- [WFL- ??] F. WURTZ, logiciels, se reporter dans la partie « Production scientifique », rubrique « Logiciels »
- [WFT-96] F. WURTZ, "Une nouvelle approche pour la conception sous contraintes de machines électriques", thèse de l'Institut national polytechnique de Grenoble, le 28 mai 1996

- [WOL-97] D. H. WOLPERT, W. G. MACREADY, "No Free Lunch Theorems for Optimization", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 1, no. 1, april 1997, pp. 67-82
- [WFS- ??] F. WURTZ, séminaires&workshop, se reporter dans la partie « Production scientifique », rubrique « Participation à des séminaires et workshop »

Enseignement

D'octobre 1994 à Juin 1997, activités de VACATAIRE à l'IUT1 de Grenoble, département Génie Electrique et Informatique Industrielle et à l'ENSIEG (Ecole Nationale Supérieure d'Ingenieurs Electriciens de Grenoble – Institut National Polytechnique de Grenoble):

- * Réalisation d'un cours de 2 H intitulé "Réalisation d'un Système Expert de Dimensionnement de Transformateur en Prolog" en 2^{ème} année de l'ENSIEG, octobre 1994
- * 30 H de bureau d'étude d'Analyse Numérique en 2^{ème} année de l'ENSIEG, octobre à décembre 1994
- * 56 H de TP d'Electrotechnique au département de Génie Electrique et Informatique Industrielle de l'IUT1 de Grenoble, janvier à juin 1995
- * 56 H de TP d'Electrotechnique au département de Génie Electrique et Informatique Industrielle de l'IUT1 de Grenoble, janvier à juin 1997
- * 12 H de bureau d'étude intitulé "Conception en Génie électrique" en 3^{ème} année de l'ENSIEG, janvier à février 1997

De Septembre 1997 à Juin 1998, ATER à l'IUT1 de Grenoble, département Génie Electrique et Informatique Industrielle:

- * Création de la partie Cours et organisation des TP et TD d'un module de 30 H sur les machines électriques et sur les ensembles convertisseurs machines
- * 40 H de Cours-TD intégrés d'Electromagnétisme et Circuits Electriques
- * 32 H de TD d'Electrotechnique
- * 56 H de TP d'Electrotechnique
- * 12 H de TP d'Electronique de puissance
- * 72 H de travaux de réalisation (Réalisation de maquettes électroniques)

Participation à la réalisation et à l'enseignement d'un cours intitulé "Méthodologie de conception en Génie Electrique"

Volume: 44h de TD en 99, 14h de TD en 2000, 16h de TD en 2001-2002, 16h de TD en 2002-2003, 16h de TD en 2003-2004, 16h de TD en 2004-2005, 16h de TD en 2005-2006, 16h de TD en 2007-2008

Lieux: Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble (ENSIEG), Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)

Remarque: ce cours reprend certains outils et résultats issus de mes travaux. Sont ainsi enseignées les méthodes de dimensionnement et d'optimisation de composants électromagnétiques en utilisant successivement les logiciels PASCOSMA [WFL-01], Pro@Design [WFL-02] et CDI-Optimizer [WFL-03], puis à présent l'environnement CADES [WFL-06].

Participation à l'enseignement de Conception Innovante

Volume: 10h de TD en 2002-2003, 10h de TD en 2003-2004, 10h de TD en 2004-2005, 10h de TD en 2005-2006, 10h de TD en 2006-2007, 10h de TD en 2007-2008

Lieux: Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble (ENSIEG), Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)

Remarque: les TD auxquels je participe montrent aux étudiants comment utiliser certaines méthodes et certains outils d'aide à la conception innovante. Est notamment abordée la méthodologie TRIZ

Participation à l'enseignement de Programmation Orientée Objet en Java.

Volume: 18h de TD en 2002-2003, 18H de TD en 2003-2004, 18H de TD en 2004-2005, 18H de TD en 2005-2006, 18H de TD en 2006-2007, 18H de TD en 2007-2008

Lieux: Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble (ENSIEG), Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)

Participation à l'enseignement de conception collaborative

Cet enseignement a été fait dans le cadre d'un module d'ingénierie collaborative entre 2 écoles d'ingénieurs de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (en l'occurrence l'Ecole National Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble et l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble). Ce module d'une soixantaine d'heure est mené par L. Gerbaud (LEG – Equipe CDI) et P. Marin (Laboratoire 3S – Equipe Conception Intégrée). Mais j'ai contribué, grâce aux travaux que nous menons sur la

conception collaborative, à monter la maquette pédagogique, aidé à monter les bureaux d'études dans lesquels on fait travailler des étudiants mécaniciens et électriciens sur la conception d'un actionneur électromécanique, et je mène le cours et les bureaux d'études pour former les étudiants aux technologies informatiques pour développer des applications réparties sur internet.

Dans ce cadre j'ai donc réalisé :

Enseignement d'informatique répartie :

Volume: 6h de cours et 16H de TD sur 3 ans en 2003-2004, renouvelé en 2004-2005, renouvelé en 2004-2005 2005-2006)

Lieux: Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble (ENSIEG), Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)

Cours sur l'ingénierie des connaissances

Volume: 2h de cours en 2004 et 4h de cours en 2005

Lieux: Master Management Stratégique et Génie des Organisations à l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel de Grenoble. J'expose dans nos cours les approches que nous avons développées pour la capitalisation des connaissances sur la base de notre plate-forme pour le dimensionnement et l'optimisation.

Encadrement de projets Etudiants

- un projet de filière d'un groupe de 9 étudiants de 2^{ème} année (équivalent de 30h de TD) dans le cadre de la gestion de projet. L'objectif est de réaliser le dimensionnement et l'optimisation de filtres analogiques pour hauts parleurs en allant jusqu'à la réalisation. Ceci s'est fait en utilisant entre autres, des outils que j'ai contribué à mettre au point au cours de mes recherches (PASCOSMA, Pro@Design [WFL-02], ...). Ce projet s'est déroulé de mars à juin 2002.
- ce projet a été reconduit de mars à juin 2003 dans les mêmes conditions.

Encadrement, animation et management de la recherche

Animation de programmes ou projets

Responsable du projet **ICONE**, projet d'un montant de 3 k€ financé par l'IPI (voir <http://www.msh-alpes.prd.fr/IPI/>). ICONE est l'acronyme de Ingénierie des CONnaissances en Entreprises. Il s'agit d'une série de séminaires qui ont été organisés de 2003 à 2004. Il s'est agi de faire dialoguer différents chercheurs du pôle grenoblois travaillant sur la problématique de l'ingénierie des connaissances. Nous y intervenons en tant que chercheurs soucieux de développer des méthodes et des outils en vue de capitaliser et de réutiliser les connaissances pour la conception de dispositifs électromagnétiques. Ce projet a permis de croiser nos problématiques issues du génie électrique avec des communautés de génie mécanique, sciences des organisations, ingénierie de la connaissance.

Projet **OCAPI** (OUTILS ET CONCEPTS POUR L'APPROPRIATION ET LE PARTAGE DE CONNAISSANCES EN INGENIERIE). Il s'agit d'un projet réunissant le LEG, un laboratoire d'automatique (Le LAG – Grenoble), un laboratoire de mécanique (3S – Grenoble) et un laboratoire s'intéressant aux systèmes de production (GILCO-Grenoble). Le but est de mettre en commun nos préoccupations sur l'ingénierie des connaissances en vue notamment de faire de la capitalisation des connaissances pour la conception. Les objectifs sont d'arriver à réaliser un ouvrage commun sur la question, et ensuite de monter des projets communs ambitieux sur cette question. Ce projet est financé par l'IPI (voir <http://www.msh-alpes.prd.fr/IPI/>) à hauteur de 10 k€.

Animateur de **l'opération Méthodes et outils pour l'optimisation de l'axe conception du GDR ME2MS** "Maîtrise de l'Energie Electrique du matériau au système" (voir <http://www.lgep.supelec.fr/GDR-ME2MS/>). Cet axe regroupe des chercheurs de tous les laboratoires de la communauté travaillant autour des outils et méthodes d'optimisation pour la conception de dispositifs électromagnétiques. Cette action se poursuit par l'animateur de l'axe conception dans le socle méthodes et méthodologies du **GDR SEEDS** (2006 - ...).

Membre du bureau de l'**IPI** (Institut de la Production et des Organisations Industrielle, voir <http://www.msh-alpes.prd.fr/IPI/>). Cette structure interdisciplinaire, regroupe des laboratoires des sciences pour l'ingénieur (génie électrique, génie mécanique, ...), des laboratoires de sociologie et des laboratoires d'économie. L'enjeu est d'étudier les systèmes de productions de produits manufacturés. Nous y intervenons en tant que chercheurs sur les méthodes et outils de conception de ces produits.

Participant en tant que partenaire, responsable de certains axes au projet **COSMOCE : Conception, Outils, Supports, Médias, Organisation pour la Collaboration des Entreprises** (voir http://emc.liris.cnrs.fr/cosmoce_site)

Ce projet est supporté par la région Rhône-Alpes . Il admet un budget total de 112 k€. L'objet est l'étude de la conception de produits manufacturés, via Internet et en faisant collaborer différents métiers (notamment électrotechniciens et mécaniciens dans la conception de produits électromécaniques). Ce projet se répartit entre 5 laboratoires qui sont le LEG, 3S (Sols, Solides, Structures, un laboratoire de

mécanique sur Grenoble), le GILCO (Gestion Industrielle, Logistique et Conception), le GRIC (Groupe de Recherches sur les Interactions Communicatives) (dont le nom vient d'être remplacé récemment par ICAR), le CENTOR (laboratoire Québécois centre de recherche sur les technologies de l'organisation réseau), le LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique, Images et Systèmes d'informations), le SIMMO (Sciences de l'Informatique, des Mathématiques, du Management et des Organisations).

Je suis personnellement responsable du lot 1 dont l'objectif est de filmer des concepteur en situation de conception (typiquement de structure électromécanique, voir figure 10), pour ensuite les analyser, notamment avec des cognitiens psychologues du laboratoire ICAR. Ceci nous permet de mieux comprendre l'activité de conception en vue de mieux spécifier les outils pour assister cette conception.

Ce projet s'est achevé en septembre 2006

Organisation de la conférence internationale OIPE'2004 : voir la partie A.2.5°.g°)

MULTISOL : Le projet MULTISOL est un projet ANR Photovoltaïque qui vise à réaliser des systèmes intelligents de gestion d'énergie dans des bâtiments multi sources d'énergie et multi charge comme cela est illustré sur la figure IX. Ce projet, outre le G2ELAB, réunit les partenaires suivants :

- CEA – Ines[Public],
- Laboratoire Armines – Sofia Antipolis[Public],
- Laboratoire G-SCOP – Grenoble[Public]
- Schneider Electric[Entreprise].

J'y suis impliqué en tant que participant et c'est dans ce cadre que se déroulent les thèses de G. Foggia, G. Warkosek et le post-doctorant de Ha Pham-Thi-Thu. Ce projet à un budget total de 2.1 M€.

Animateur d'un axe de recherche dans le cadre du projet **ASPIC** du cluster GOSPI

Je suis **animateur d'un axe intitulé « Plate-forme pour la capitalisation de savoirs, et la mise en réseau de connaissances et de compétences en vue de la simulation et du dimensionnement »**. Cet axe de travail regroupe les laboratoires G-SCOP, G2ELAB et LIG de Grenoble en lien avec le LIRIS de Lyon. C'est typiquement le travail dans cet axe qui a permis d'initier le projet DIMOCODE décrit ci après. Rappelons que GOSPI est Cluster de la région Rhône Alpes dans la thématique des Organisations et des Systèmes de Production Industrielle (voir <http://www.cluster-gospi.fr>). Ce cluster offre un support pour des projets tel que ASPIC dont l'acronyme signifie (Analyse et Structuration des Pratiques en Ingénierie Collaborative).

Projet DIMOCODE : L'objectif de ce projet est de développer une plateforme de capitalisation et de diffusion par Internet de modèles pour le dimensionnement de systèmes de conversion d'énergie. Ce projet interdisciplinaire réunit d'une part des acteurs de SEEDS qui mettront à disposition des modèles et d'autre part des spécialistes des systèmes d'information, des spécialistes de la gestion des connaissances et des spécialistes des sciences de la conception, autant d'axes scientifiques essentiels à la bonne spécification de la plateforme. A terme, en levant le verrou de la disponibilité des modèles, ce projet doit permettre de faciliter la conception et l'optimisation énergétique des systèmes de conversion d'énergie.

Ce projet réunit les partenaires suivants :

- Laboratoire Ampere Lyon[Public]
- Laboratoire GSCOP – Grenoble[Public]
- Laboratoire L2ES – Belfort[Public]
- Laboratoire L2ES – Lille[Public]
- Laboratoire LGEP – Speelabs – Paris[Public]
- Laboratoire LIG – Grenoble[Public]
- Laboratoire LIRIS – Lyon[Public]

Je suis responsable de projet dont le budget total est de 100 k€ sur 2 ans, avec fourniture d'un CDD de 10 mois d'ingénieur pour support à la réalisation de la plate-forme.

Aplodi et aplodias :

Le projet APLODI est une soumission qui a été faite à l'ANR RNTL en 2007. Il visait à réaliser une architecture et une plate-forme ouverte pour le dimensionnement et l'analyse Système. Le résultat idéal final correspond à ce qui a été exposé sur la figure I, à savoir aller vers des plates-formes logicielles ouvertes, de type framework, qui échangeraient des composants logiciels représentant de composants de gestion d'énergie. L'idée était de tester des frameworks à base de composants logiciels comme le framework CADES (voir la partie A 2 2-a-2-c Une recherche sur les architectures d'outils et de plates-formes).

Ce projet devait réunir les partenaires suivants :

Il n'a pas été retenu par l'ANR

Nous l'avons re-soumis en 2007 en menant un leadership commun avec l'INRIA de Monbonnot en Isère sous le nom projet APLODIAS

Même si ces projets n'ont pas formellement démarrés, car pas soutenus à l'heure actuelle par l'ANR, ils ont quant même contribué à initié des communautés autour des frameworks pour l'optimisation et l'analyse système dans l'esprit de ce qui est exposé dans la partie A 2 5-b-1 Organisations et communautés autour des concepts de composants logiciels standardisés et de framework.

Transfert technologique, relations industrielles et valorisation

Contrats&Projets

Participation à contrat avec la société **Somfy** de 1996-1997. Ce contrat a consisté à reprendre le modèle de dimensionnement de moteur asynchrone monophasé et d'en générer une application de dimensionnement et d'optimisation grâce au logiciel PASCOSMA. Cette application a ensuite été utilisée chez Somfy pour dimensionner des gammes de moteurs.

Responsable à 90% du contrat avec **Radio-Energie** dans le cadre de la thèse de Christophe Sauvey. Cette thèse est un contrat CIFRE qui fait l'objet d'un contrat d'accompagnement de 60 KF par an. Ce contrat s'est déroulé de septembre 97 à septembre 2000.

Réalisation à 100% d'une consultance pour la société **Microspire** dont l'intitulé était : « Expertise pour le dimensionnement de filtres pour Application Telecom ». Cette consultance s'est faite dans le cadre du LEG. Elle représente l'équivalent de 1 semaine de travail à temps plein. J'ai utilisé PASCOSMA. Le travail a consisté en des demi journées de travail avec l'industriel partenaire qui se sont déroulées de février à juin 2001

Réalisation à 50% d'une consultance pour la société **Microspire** dont l'intitulé était : « Expertise pour le dimensionnement de filtres pour Application Domotique ». Cette consultance s'est faite dans le cadre du LEG en collaboration avec L. Gerbaud. Elle représente l'équivalent de 1 semaine de travail à temps plein. Nous avons utilisé notamment Pro@Design [WFL-02], le logiciel qui succède à PASCOSMA. Le travail a consisté en des demi journées de travail avec l'industriel partenaire qui se sont déroulées de février à mars 2002.

Réalisation à 20% d'une consultance pour la société **Microspire** dont l'intitulé était : « Expertise pour le dimensionnement de filtres pour ADSL ». Cette consultance s'est faite dans le cadre du LEG en collaboration avec L. Gerbaud et JP Keradec de l'équipe électronique de puissance. Elle représente l'équivalent de 1 mois de travail à temps plein. Nous avons utilisé notamment Pro@Design [WFL-02], le logiciel qui succède à PASCOSMA. Le travail a consisté en du conseil dans l'utilisation des méthodes et outils de génération automatique de modèle de dimensionnement. Cette étude s'est déroulée au cours du mois de juin 2003.

Participation à la réalisation d'un contrat avec **Somfy** (74 Cluses) dont l'objet est la mise au point de modèles, de méthodologies et de logiciels pour le dimensionnement de moteurs asynchrones monophasés. Ce contrat est essentiellement mené par J. Fandino, chercheur dans notre équipe, mais je suis intervenu en tant que soutien. Ce contrat a fait l'objet d'un montant de 75 K€ sur une période de 29 mois. Il a débuté en novembre 2000 et il s'est achevé en décembre 2003

Responsable à 50% du contrat avec **Peugeot - Citroën (PSA)** dans le cadre de la thèse de L. Albert. Cette thèse est un contrat CIFRE qui fait l'objet d'un contrat

d'accompagnement de 75 K€ repartis sur 3 ans. Ce contrat a débuté en octobre 2001 et s'est achevé en octobre 2004.

Responsable à 66% du contrat avec Microspire dans le cadre de la thèse de D. Magot. Cette thèse est un contrat CIFRE qui fait l'objet d'un contrat d'accompagnement de 75 K€ repartis sur 3 ans. Ce contrat a débuté en octobre 2001 et s'est s'achevé en octobre 2004.

Responsable à 50% du contrat avec Schneider Electric dans le cadre de la thèse de B. du Peloux. Cette thèse est un contrat CIFRE qui fait l'objet d'un contrat d'accompagnement de 75 K€ repartis sur 3 ans. Ce contrat va s'achever en octobre 2006.

Impliqué dans le contrat d'accompagnement de la thèse CIFRE d'Edouard Dezille avec le fabricant de matériel électrique Hager (Obernai - France)

Responsable à 33% du contrat avec Microspire dans le cadre de la thèse de D. Duret. Cette thèse est un contrat CIFRE qui fait l'objet d'un contrat d'accompagnement de 75 K€ repartis sur 3 ans. Ce contrat a débuté en janvier 2005 et s'est achevé en juin 2007.

Responsable à 25% d'un contrat avec Airbus intitulé « Optimisation du dimensionnement d'un canal ce puissance » - Contrat CNRS n° PBO D06029685. Le montant global de l'étude est de 199 000 € HT, avec une participation financière de Airbus de 68 000 € HT. Ce contrat est réalisé dans le cadre du GDR SEEDS (GDR du Génie Electrique Français) en lien avec le laboratoire Laplace de Toulouse (Equipe de X. Roboam). L'objectif est de montrer l'intérêt et la faisabilité des approches d'optimisation pour des chaînes de conversion d'énergie électriques utilisées dans l'aéronautique. Cette étude est réalisée dans le cadre de la thèse de Hieu Nguyen Huu.

Responsable à 50% d'un contrat avec Delphi DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS LUXEMBOURG SA intitulé « Etude d'un système de pilotage des soupapes des moteurs thermiques fonctionnant par décalage angulaire des arbres à cames » d'un montant de 15 k€ HT. Dans ce cadre, un coupleur magnétique et un actionneur pour moteur thermiques ont été conçus et optimisés avec la suite logicielle CADES. 1 licence du logiciel CADES a été livrée dans ce cadre.

Responsable à 50% du contrat avec Schneider Electric dans le cadre de la thèse de D. Thai Phuong. Cette thèse est un contrat CIFRE qui fait l'objet d'un contrat d'accompagnement de 37,5 K€ repartis sur 3 ans (37,5 autres k€ revenant au laboratoire Ampère de Lyon). Ce contrat va s'achever en janvier 2010.

Contrat de valorisation de RelucTool: Dans le cadre de contrat, intitulé « *Industrialisation et maintenance du logiciel Reluctool Stat* », Schneider Electric prend en charge l'industrialisation du logiciel via la société CEDRAT. En contre-partie de cette prise en charge de la maintenance Schneider bénéficie d'une exclusivité dans le domaine de la *distribution électrique et des automatismes industriels basse tension et moyenne tension pour les marchés du résidentiel, du bâtiment, de l'industrie et des*

infrastructures ». Pour le reste les organismes restent propriétaires du logiciel dans et hors le domaine pré-cité.

Projet de création d'entreprise

-Valorisation

Valorisation du logiciel PASCOSMA dans le cadre de l'incubateur Grenoblois visant à créer une société :

PASCOSMA est un logiciel que j'ai développé au cours de ma thèse et mes premières années de carrière. Il s'agit d'un environnement pour le dimensionnement et l'optimisation de machines électriques. Ce prototype a été largement utilisé au LEG, diffusé dans 2 universités (Institut de Génie Energétique de Belfort et Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) et utilisé par 3 industriels (Radio-Energie, Somfy, Groupe Schneider Electric).

J'ai été l'un des porteurs du projet PASCOSMA - Pro@Design de décembre 1999 à novembre 2002. Celui-ci a visé à valoriser, au sein du GR-A-IN (Grenoble Alpes Incubation) ce logiciel et sa nouvelle déclinaison Pro@Design [WFL-02]. Ce projet a abouti à la création d'une société en novembre 2002. Cette activité a pu mobiliser jusqu'à 50% de mon temps avant la création de la société.

La société s'appelle Design Processing Technologies (voir <http://www.designprocessing.com>).

Ce projet a été lauréat du concours sur l'innovation du Ministère de la Recherche en juillet 2002

Brevet

Titre : *Filtre passe-bas à composants uniquement passifs destiné au découplage de voies basse fréquence et haute fréquence*

Inventeurs : B. Cogitore - F. Wurtz - J.P. Keradec - L. Gerbaud

Numéro de publication : 2 873 874

Numéro d'enregistrement national : 04 51672

Date de dépôt : 27.07.04

Date de mise à la disposition du public : 03.02.06, Bulletin 06/05

Commentaire : Il s'agit d'un Brevet déposé par la société Microspire dans le cadre de nos collaborations de recherche dans laquelle nous apportons notre support en terme de stratégies, de méthodes et d'outils.

Développement de logiciels

Pro@Design commercialisé industriellement, CDI-Optimizer, ReluctTool et VisualComposer, CADES qui sont des prototypes de recherches déjà largement utilisés au laboratoire et dans des partenariats industriels (voir [WFL-01] à [WFL-06]) voir aussi la partie « II.b Des plates-formes logicielles pour le dimensionnement et les études de faisabilité ».