

Henri Boulouet, ingénieur-systèmes chez PSA (peugeot-Citroën), avec son équipe, a appliqué MCR à la conception industrielle avec des résultats qui paraissent intéressants. Actuellement il développe sur ce sujet une Thèse dans le cadre du Laboratoire CEDRIC du CNAM. Le projet qui a conduit à l'inscription de cette Thèse est reproduit ci-dessous.

Titre	Ingénierie Système Relativisée (fondée sur la Méthode de Conceptualisation Relativisée)
Mots clé	ISR, MCR, UML, SysML, ingénierie système, mécatronique, système complexe, électronique embarquée
<p>La complexité croissante des systèmes mécatroniques les rend assimilables aux systèmes naturels. D'autre part, l'évolution des méthodes et techniques orientées objet rend ces dernières à même de tirer partie d'une nouvelle <i>méthode</i> – systématiquement relativisée – de construire des connaissances, à savoir une méthode développée à partir d'une explicitation des modes de "décrire" les micro états qui sous-tendent le formalisme mathématique de la mécanique quantique et qui, d'ores et déjà, a remarquablement réagi à des tests préliminaires de sa pertinence pour des processus de conception d'artefacts industriels.</p> <p>Dans ces conditions il paraît naturel de concevoir le but d'opposer un système <i>unifié</i> de solutions conceptuelles et pragmatiques, aux défis que la conception et la réalisation d'artefacts industriels imposent en conséquence de la densité des interactions entre ressources de natures différentes qui interviennent, et de l'absence d'une cohérence conceptuelle et formelle entre les très nombreux points de vue et niveaux d'abstraction que ces interactions mettent en jeu. Car désormais il semble possible d'intégrer étroitement les processus de spécification, de conception, de simulation et de test, dans une structure unique, compréhensible et efficiente.</p>	

1) La situation actuelle

Les industriels, tout spécialement du domaine automobile, mais aussi ceux du domaine spatial ou ferroviaire, sont confrontés à des contraintes commerciales, économiques et techniques qui introduisent des exigences contradictoires. Les demandes des utilisateurs poussent à diversifier les produits. La distribution spatiale des conditions sociales-économiques locales d'une part, et d'autre part le contexte concurrentiel mondialisé, obligent à organiser un processus de co-conception réparti entre de multiples acteurs délocalisés. Corrélativement, les exigences d'optimisation technique forcent elles aussi à factoriser les solutions autour d'architectures standard modulables évolutives qui doivent concilier réutilisation optimale d'éléments existants et diversification des prestations offertes. Les opérations à accomplir subissent donc une tendance générale croissante à se différencier et se disperser.

D'autre part, l'optimisation technique de la robustesse et de la fonctionnalité du produit *intégré* exige de la cohérence et du contrôle au niveau global des produits finis. Mais :

- Comment gérer, sur le parcours constructif, l'*articulation biunivoque* entre les analyses qualitatives des services à offrir aux utilisateurs, et une solution technique particulière, telle qu'elle ressort finalement du processus de spécification et de conception qui assemble des sous-projets nombreux et souvent sous-traités?
- Comment engendrer ensuite un processus de conception qui organise en un tout *cohérent* des besoins multiples et porteurs de contraintes différentes (performance, sûreté de fonctionnement, etc.) qui, en outre, reposent sur des ressources partagées traitées dans des environnements diversifiés (usines, conditions extrêmes, etc.) ?
- Comment, enfin, établir les liens entre le cahier des charges imposé au produit, et les procédures de tests, de façon à effectivement assurer la couverture de tous les besoins et

d'accomplir une *intégration* convenable de ceux-ci, ainsi que des tests concluants, tout en évitant un travail aussi fastidieux que hasardeux de réinterprétation de ces besoins, qui ont été d'abord exprimés *séparément* ?

Matérialiser des besoins portés par des ressources partagées, d'une manière convenablement unifiée et maintenue sous contrôle face – à la fois – aux utilisations prévues et aux intérêts du producteur, devient une véritable gageure, autant d'un point de vue conceptuel que du point de vue technique.

D'autre part l'enjeu commercial est proprement colossal.

Les pratiques mises en œuvre actuellement reposent soit sur le bon sens commun, soit sur un ensemble plus ou moins hétéroclite de modes de calcul élaborés *séparément* les uns des autres, à l'intérieur des différentes sciences "dures" qui interviennent (mécanique, thermique, microélectronique, etc.) afin de faire face à tel ou tel problème, mais tel que celui-ci est formulé dans la science respective.

L'import de modes de calcul, de "modèles mathématiques", à partir de disciplines différentes (mécanique, thermodynamique, électronique, électromagnétisme, etc.) est perçu de manière illusoire comme n'impliquant aucun piège. Chacun de ces modèles mathématiques a acquis une telle crédibilité dans son domaine propre, qu'il semble aller de soi que l'adéquation de la correspondance qu'il implique dans ce domaine particulier, avec le type de faits physiques auquel il s'applique, *subsiste* lorsqu'on expatrie le modèle considéré dans un domaine différent de faits physiques. Or cette confiance *a priori* est en général trompeuse. Car un modèle mathématique est une *description* accomplie en un langage formel crypté, et toute description – de façon indélébile – est *relative* à ce qu'elle qualifie et à la *grille de qualification* à travers laquelle elle qualifie. Or en général ces éléments descriptionnels changent lorsqu'on passe d'un domaine de description à un autre.

Pourtant le placage de simples combinaisons de modèles mathématiques d'origines diverses, afin de traiter les problèmes impliqués par telle ou telle conception d'artefacts industriels, est une pratique courante. L'on érige ainsi des "méthodes" *directement posées* en 'patchwork' sans aucune recherche de justification conceptuelle plus spécifique, plus intégrée et plus profonde. Il y a là une source de confusions sans fin.

Néanmoins, l'intuition des hommes permet tant bien que mal de faire face, moyennant de grandes pertes de temps, d'efforts, et d'argent. Mais cela ne supprime pas le fait que, ce faisant, on accepte des handicaps.

Le handicap majeur dont souffrent toutes ces "méthodes" à genèse hétéroclite et à caractère peu spécifique du domaine d'application visé, est l'absence d'un enracinement dans une méthode qui régleme – *spécifiquement* – chaque processus de conceptualisation à l'intérieur d'un *cadre général unique* : une méthode qui formalise d'abord en termes *génériques* l'ensemble des liens entre entités physiques (fragments de matière, opérations et faits physiques) et représentations de celles-ci soumises à des *buts* ; et qui ensuite prescrit aussi des manières *normées* de *spécifier* ces liens en adéquation stricte avec les particularités de tel ou tel cas défini. En effet l'absence d'un tel enracinement entraîne irrémédiablement de l'empirisme tâtonnant, de l'arbitraire, du flou, dans toutes les parties et toutes les phases du processus de construction d'un artefact industriel de quelque type donné. Notamment, il entraîne une relation incertaine entre, d'une part les processus de conception et de test d'un artefact industriel, et d'autre part les impressions que l'utilisateur de cet artefact éprouve lors de son utilisation. Ces impressions ne sont pas réductibles aux seuls constats physiques qui les génèrent : en un certain sens tout artefact devient pour l'utilisateur une entité *psychophysique*, une extension de son corps et de sa personnalité, un médium qui – sur le fondement des performances possibles "objectives" de l'objet physique technique – permet à l'utilisateur

d'agir et de percevoir selon ses propres capacités biologiques (réflexes, etc.) et tendances psychiques (système de valeurs, statut social, etc).

Enfin, le comportement de l'artefact est déterminé tout autant par l'environnement où il est en train d'évoluer, que par sa matérialité et sa structure interne permanentes, et ne se révèle entièrement que dans l'ensemble des appariements de ces deux sortes de facteurs.

Ces quelques remarques triviales suffisent pour mettre d'emblée en évidence l'importance fondamentale des *RELATIVITÉS* tout au long des processus de conception, d'évaluation et d'utilisation d'un artefact industriel. On pressent que, cependant que le morcellement brutal d'un processus de conception selon diverses facilités locales, est source possible de *désorganisation*, la simple *référence* relativisante systématique au *type d'objet visé* au cours du processus, à tel ou tel *aspect* considéré, et à telle ou telle *contrainte physique* à respecter – qui déterminent la structure intime visée sans s'y immiscer d'une manière agressive, pourrait au contraire offrir les modalités de construire des *cellules descriptionnelles* telles que de leur assemblage il émerge spontanément un tout *organique*, un artefact final où se trouve accomplie une intégration rigoureuse et optimale de l'ensemble des aspects et des fonctionnements partiels souhaités, parce que les pentes structurelles naturelles de cet artefact final, mal connues, n'ont jamais au cours de la conception, couru le risque d'être violées.

A condition, bien entendu, de disposer d'une structure conceptuelle où soient définis les principes et les algorithmes généraux qui permettent de construire les cellules descriptionnelles appropriées et d'assurer leur intégration pertinente face aux buts poursuivis.

2) La Méthode de Conceptualisation Relativisée

Mme Mioara Mugar-Schächter a développé longuement une *Méthode Générale de Conceptualisation Relativisée* (MCR). Cette méthode a été élaborée en généralisant convenablement la manière de construire des connaissances sur des microétats qui se trouve encryptée dans le formalisme mathématique de la mécanique quantique. L'explicitation de cette manière d'opérer, ainsi que la forme descriptionnelle qui en résulte, a été lente. Mais une fois accomplie il est apparu qu'elle pouvait être regardée comme une réalisation particulière pour le cas spécial des microétats, de certains traits descriptionnels qui caractérisent *universellement* la toute *première* strate de génération de connaissances ; une strate qui était restée cachée en dessous des langages courants et de l'entière pensée classique, notamment en dessous de la logique, des probabilités, et de l'entière pensée scientifique classique. C'est cette constatation qui a motivé l'entreprise de construire MCR.

La forme descriptionnelle qui fonde MCR – celle des descriptions "de base *transférées*" (sur des enregistreurs d'appareils de mesure) – est foncièrement relative à *l'opération de génération de l'entité physique à qualifier, à cette entité physique elle-même, et à la grille de qualification mise en œuvre*. Cette triple relativité se transmet ensuite dans la strate de conceptualisation subséquente, celle des *modèles* construits *via* des "méta-conceptualisations intrinsèques" de descriptions transférées de base.

Moyennant seulement 21 formulations qui s'enchaînent selon les exigences de la syllogistique courante (10 définitions, 1 postulat, 3 principes, 1 convention et 6 propositions démontrées), il se constitue progressivement une structure, MCR, qui établit avec une rigueur stricte les normes algorithmiques selon lesquelles on doit développer un processus de conceptualisation *quelconque*, de manière à ce que – en conséquence des relativisations systématiquement introduites en chaque phase de ce processus – toute possibilité de fausse absolutisation et donc toute ambiguïté ou faux problème, soient exclus *a priori*, par construction.

A l'intérieur de MCR la logique classique et les probabilités classiques transmutent, respectivement, en une logique génétique et une théorie génétique des probabilités. Les domaines classiques de ces deux approches fondamentales de la pensée s'en trouvent étendus et approfondis et en outre ils *s'unissent* en une structure logico-probabiliste unique.

MCR conduit également à d'autres clarifications importantes et possibilités nouvelles (la genèse des "objets" classiques devient explicite, comme aussi, plus généralement, celle des "modèles" quelconques ; l'endroit où, dans la théorie de l'information de Shannon, se cache le "sens", s'élucide, et cela permet de construire des mesures de complexité qui n'escamotent pas les contenus sémantiques impliqués, etc.).

MCR a été d'emblée exprimée synthétiquement en un langage idéographique. En outre, d'ores et déjà, une mathématisation schématique en termes de la théorie des catégories a été accomplie. Enfin, une mathématisation en termes de vecteurs de description multidimensionnels est en cours et elle permettra des estimations *numériques*.

Or, notamment :

MCR éclaire les concepts et les processus qui interviennent en ingénierie système, d'un jour radicalement nouveau, systématiquement relativisant, et par cela à la fois unificateur et générateur d'organisation et de précision.

Ceci paraît rendre possible un saut qualitatif sans précédent dans le domaine de la conception et de la réalisation d'artefacts.

3) Le projet ISR

Face aux constats exprimés dans ce qui précède et après une première période de maturation nourrie depuis 1997 qui a conduit à plusieurs réalisations effectives, depuis 2005 j'ai constitué une petite équipe qui a fait des travaux exploratoires approfondis focalisés sur des applications de MCR dans le cadre de différents projets automobile. Ces travaux, sur un plan conceptuel, ont abouti à une première formulation d'une méthode que j'ai dénommée ISR: Ingénierie Système Relativisée. Les résultats encourageants obtenus m'amènent aujourd'hui, soutenu par PSA, à vouloir implanter conceptuellement ISR dans MCR d'une manière approfondie, explicite, et aussi exhaustive que possible.

Je pense que la réalisation de ce but assurerait à l'ingénierie système, au travers d'ISR, la généralité, l'unité et l'efficacité optimisée qui à présent lui manquent.

* Globalement, elle introduirait toute l'économie de pensée qui découle de l'emploi *d'une méthodologie invariante qui agit de manière récurrente à tous les niveaux de conceptualisation*, tout en pouvant servir comme support aussi bien aux processus de conception qu'aux processus de test.

* Notamment, elle induirait dans l'ensemble des processus impliqués dans la conception d'artefacts, le lien organique indélébile que, dans MCR, les descriptions de base transférées établissent entre entités physiques encapsulées dans le processus de conceptualisation en état encore *a-conceptuel*, et une toute première génération de connaissances liée à ces entités ; ces liens identifiés d'abord dans l' "infra-mécanique quantique" pour le cas spécial des descriptions de microétats et qui, repris et généralisés dans MCR, se transmettent ensuite aux modèles et aux enchaînements de combinaisons de modèles, agissant comme des grains sémantiques qui nourrissent les significations.

* En outre elle permettrait de concevoir également les campagnes de tests (génération de vecteurs de test et calcul de verdict), en intégrant les aspects liés à l'analyse de risques, sous le guidage du concept MCR de probabilités relativisées, beaucoup plus vaste, profond et spécifique que le concept de probabilité classique.

Afin de réaliser le but formulé, je me propose deux grands types d'actions :

- Identifier *la structure MCR* des concepts et formulations qui interviennent dans l'ingénierie système (préalablement épurés et précisés). Autrement dit, expliciter les relations de passage d'un langage spécifiquement pertinent pour l'ingénierie système, aux 21 formulations de base de MCR évoquées plus haut. Le degré de clarté et détail d'une telle transposition, qui équivaudra à "une formulation MCR de ISR", déterminera le degré de réussite de l'insertion conceptuelle de ISR dans MCR, i.e. le degré de *simplicité* et d'*exactitude* avec lequel les algorithmes MCR de conceptualisation, deviendront applicables dans ISR.

- Traduire les résultats de cette transposition, *en termes opératoires informatisables*. Le degré d'achèvement de cette deuxième tâche sera fortement déterminant pour la valeur pragmatique du travail projeté ici. Toutefois, dans le cadre du projet présent, ce deuxième type d'action ne sera pas soumis à une exigence d'exhaustivité.

ISR doit donc aboutir à une méthode conceptuelle-opérationnelle de production d'artefacts industriels, et à un langage informatique approprié. Ce langage informatique doit être contraint par le but de déboucher de manière géodésique sur la conception de *modèles ISR*. Ceci suggère l'utilité de rechercher une customisation des environnements d'utilisation (automatisation, vérification syntaxique, IHM, etc.) qui soit *neutre* par rapport à la plateforme technique cible, ce qui implique *le développement d'adaptateurs pour chaque plateforme*.

Dans le cadre de ce projet, j'envisage *a priori* l'utilisation :

- du méta langage Kermeta transposé dans un profil UML du fait qu'il implémente EMOF (Essential MOF : Meta object Facilities) comme pivot entre l'insertion conceptuelle d'ISR dans MCR et le développement de l'environnement utilisateur réalisé en langage Java ;
- d'une plateforme de développement Eclipse (TOPCASED) permettant de bénéficier d'une offre open source et commerciale diversifiée autour du standard UML, de bénéficier des travaux réalisés dans le domaine du temps réel embarqué (QoS, Real Time, etc.) et d'encapsuler les outils spécifiques mis en œuvre ;
- de l'outil Rhapsody comme éditeur à customiser, car il présente l'avantage d'offrir nativement un environnement d'édition et de simulation, et de s'interfacer avec l'outil de modélisation Simulink pour les aspects mathématisés.

Mais l'approche restera ouverte aux questions et suggestions qui émergeront et elle se spécifiera sans doute de plus en plus chemin faisant.

a) Applications pratiques d'ISR

D'ores et déjà, dans le cadre de PSA, a été défini un premier projet pilote faisant suite aux premières expérimentations pour évaluer ISR dans le domaine de l'électronique habitacle.

Un deuxième tel projet s'élabore dans le domaine du contrôle moteur.

Enfin, l'articulation d'ISR avec l'ingénierie des *tests* fait l'objet de travaux complémentaires qu'il est prévu de réaliser dans le cadre du pôle de recherche « Véhicule du Futur » (projet *programmé* labellisé VETESS) qui, entre autres, implique PSA, l'UHA (Université de Haute-Alsace), l'Université de Franche-Comté et la société SmartTesting (anciennement Leirios). Ces travaux permettront, le moment venu, d'évaluer la capacité d'ISR à produire *automatiquement* des jeux de tests et à calculer les verdicts à partir des modèles spécifiants.

D'une manière générale, tout apport d'ISR sera évidemment à évaluer spécifiquement, notamment en termes de faisabilité technique, humaine, et d'avantages économiques.

4) Conclusion

L'intuition des hommes permet en fin de compte de pallier les insuffisances des modes actuels de conception de système complexes. Mais le but du projet ISR est d'abaisser les seuils

d'investissement de temps, d'effort et d'argent nécessaires pour maîtriser des problèmes de "complexité", et de permettre de détecter très en amont les manques et incohérences qui vicient autant chaque perspective prise isolément, que l'intégration finale de l'ensemble de ces perspectives, dans un seul produit. En outre, la génération automatique des vecteurs de test permettra de tirer parti pleinement des efforts consentis en matière d'analyse et de conception. Les bénéfices devraient consister en une amélioration notable de la qualité des produits, une diminution nette des coûts de garantie, et un raccourcissement des cycles de conception en conséquence d'un recours accru à la réutilisation et à la simulation.

Mais sans même prendre en compte le détail d'énumérations comme celle faite plus haut, il suffit de savoir qu'actuellement la conception et la programmation de campagnes de tests programmées en l'absence de tout guidage conceptuel organisé, prennent environ six mois pour un calculateur, *sans* que pour autant on soit sûr de l'adéquation du réalisé par rapport au spécifié abstrait préalable: le fait qu'une approche générale et unifiée pourrait offrir des apports considérables, saute aux yeux.

5) Travaux de référence

[1] Mioara Mugur-Schächter :

- - [2002A], "Objectivity and Descriptive Relativities", *Fonds. of Science*.
- - [2002B], "From Quantum Mechanics to a Method of Relativized Conceptualization", in *Quantum Mechanics, Mathematics, Cognition and Action*, Mugur-Schächter M. and Van Der Merwe A., Eds., Kluwer Academic Publishers.
- - [2006], *Sur le tissage des connaissances*, Hermès-Lavoisier.
- - [2008], *L'infra-mécanique quantique*, [arXiv:0801.1893v1](https://arxiv.org/abs/0801.1893v1) [quant-ph] et http://www.mugur-schachter.net/publications_fr.html

[2] **Projet TOPCASED (Toolkit in Open Source for Critical Applications & Systems Development)** émanant du pôle de compétitivité «Aéronautique, espace et systèmes embarqués».

[3] **MeMVaTEx : Méthode de Modélisation pour la Validation et la Traçabilité des Exigences.**

[4] **OpenDevFactory** : plate-forme d'intégration normalisée des développements technologiques portant sur les outils logiciels de modélisation.