



## **Faciliter les échanges entre concepteurs et expert environnement : approche fédérative d'interopérabilité des outils**

Maud Rio  
Janvier 2013



### **Résumé des travaux :**

Malgré le développement rapide d'outils et de méthodes appropriés, la pratique de l'éco-conception reste difficile en industrie. En particulier par le manque de dynamisme et de flexibilité des échanges d'informations entre les concepteurs multi-métier et l'expert environnement durant le processus de conception. Cet article propose une méthode leur permettant d'améliorer l'interopérabilité de leurs outils en utilisant la fédération fondée sur l'approche d'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM). La méthode FESTive pour Federate EcodeSign Tools modElS se décline en une étape de création de modèles associés aux outils des concepteurs et de l'expert environnement, et en une étape d'utilisation des modèles pour déployer le processus de conception suivant la tactique définie par les chefs de département.

La proposition a été expérimentée sur deux cas d'études des entreprises Parkeon et Quiksilver. Les résultats des expérimentations montrent que la méthode est applicable au milieu industriel et confère trois propriétés : (1) la capacité de s'adapter aux différents contextes que nécessite la pratique de l'éco-conception (2) l'échange dynamique des données disponibles entre les concepteurs et l'expert environnement et (3) la capacité de l'expert environnement à répondre de manière adaptée aux concepteurs afin qu'ils réitérent leurs choix en faveur de la composante environnementale. Enfin, la méthode contribue à construire une pro-activité des métiers durant le processus de conception. Cette dynamique facilite l'application de la tactique et de la stratégie environnementale.

*Mots clés : Ecoconception, Ingénierie Dirigée par les Modèles, Ingénierie collaborative*

## **I. Introduction**

L'action de l'homme a des effets irréversibles sur les éco-systèmes qui régissent le fonctionnement naturel de la vie sur Terre : nous vivons l'ère anthropocène [23]. En réponse à ce constat émergent des courants de pensée remettant en question les systèmes de valeur ou paradigme dominants dans une société d'hyper-consommation (au sens de [15]). Dès lors que la consommation serait liée à la conception, il s'agirait de repenser notre manière de concevoir pour impulser un changement de paradigme ayant pour effet de réduire notre facture anthropique.

Ainsi, l'éco-conception vise à introduire lors de la conception des produits la dimension environnementale à même titre que les contraintes technico-économiques, en se projetant sur chacune des phases du cycle de vie du produit, sans en réduire sa valeur à l'usage. C'est une démarche préventive [1]. Pour les industriels, la pratique de l'éco-conception est motivée par des moteurs internes et externes [19], comme la labellisation, la certification (REACH, RoHS, DEEE, etc.) ou encore la démarcation face à la concurrence [27]. L'étude de [18] Montre que l'éco-conception peut être source de profit économique pour l'entreprise, peut favoriser l'innovation et améliorer la collaboration entre les parties prenantes. Pour ces raisons ayant trait aussi bien à la tactique qu'à la stratégie environnementale de l'entreprise, le concepteur est amené à faire évoluer ses pratiques afin d'y intégrer des critères relatifs à l'environnement (recyclage, fin de vie, consommation énergétique, etc.).

### **1.1 L'éco-conception pour le concepteur :**

Les concepteurs participent au processus de conception au sein d'activités métier complémentaires, ayant leur propre outils, savoir-faire et connaissances propres. Ces métiers ont un objectif commun et des ressources partagées avec d'autres services de l'entreprise (par exemple la logistique) [10]. En observant la pratique de l'éco-conception au sein des entreprises, on constate qu'il n'existe pas de consensus clair vis-à-vis de la place de l'activité d'analyse environnementale dans ce processus collaboratif. La dimension environnementale devrait-elle être intégrée au niveau de chacune des activités métiers localement, ou au niveau d'une activité transversale, orchestrée par une expertise propre en analyse environnementale qui aurait la capacité de se projeter dans chacune des phases du cycle de vie du produit, tout en gérant les impacts collatéraux des différents choix pris par les différents métiers de la conception ?

En partant de cette constatation, nous définissons un cadre conceptuel, appelé "local-global" [20], reposant



sur deux principes : (1) chaque expertise maîtrise ses propres paramètres métier (au niveau "local", ensemble des métiers de la conception ; au niveau "global", activité d'analyse environnementale experte) ; (2) ces métiers locaux et globaux échangent des informations et communiquent en toute complémentarité d'expertise afin d'atteindre les objectifs fixés par le cahier des charges.

Dans ce cadre : "comment aider les concepteurs à collaborer avec l'expertise environnementale tout au long du processus de conception ?". Cette question fait apparaître trois fonctions principales que nous allons étudier à la section suivante :

- 1/ la fonction d'intégration du paramètre "environnement" au coeur des paramètres métier "locaux" ;
- 2/ la fonction relative aux contextes variés que nécessite la pratique de l'éco-conception (suivant les objectifs, les ressources, les phases du processus, la technologie impliquée, les connaissances des métiers, etc., les outils pour pratiquer l'éco-conception seront différents) ;
- 3/ la fonction technique liée à la capacité du système d'information à pouvoir assurer les échanges d'informations entre des outils locaux et globaux complémentaires mais différents.

### ***1.2 Etude des fonctions d'intégration, contextuelle et technique :***

La fonction d'intégration de la dimension environnementale par rapport à l'existant en conception offre trois principales opportunités. Premièrement, la notion de cycle de vie, pièce maîtresse de l'analyse environnementale existe en conception [1]. Ensuite, le processus de conception est collaboratif et depuis la naissance de l'ingénierie collaborative, chercheurs et industriels développent des méthodes et outils pour faire collaborer des expertises différentes. Troisièmement, la connaissance environnementale est présente de façon croissante dans les *curriculum vitae* des jeunes concepteurs arrivant dans l'industrie. Mais ces opportunités renferment également des limites. Premièrement, plusieurs notions de cycle de vie co-existent au cours du processus [9] (au regard du marketing, du concepteur CAO, etc.). Et il s'agit d'aligner les objectifs au niveau transversal du chef de projet avec ceux de l'expert environnement, autour de critères environnementaux définis dans le cahier des charges [8]. Ensuite, comme le montrent les précurseurs de l'ingénierie concurrente [24, 28], plus le processus de conception avance au cours du temps, plus les choix de conception se figent et plus il est coûteux de modifier ces choix. Dès lors, il s'agit d'agir au plus tôt et de manière continue pendant le processus de conception pour réduire au mieux les impacts potentiels pouvant être générés par le produit sur l'environnement [12]. Enfin, la connaissance environnementale minimale des concepteurs ne doit pas se substituer à une connaissance experte. Comme le montre [16], il est nécessaire de définir une connaissance minimale entre experts et non experts et de créer des liens entre paramètres environnementaux et paramètres métier maîtrisés par chaque expertise.

La fonction contextuelle renvoie à l'étude des outils et méthodes d'analyse environnementale existants et qui se développent aujourd'hui de manière foisonnante. Nous constatons un fort développement des outils d'analyse environnementale, pouvant être intégrés aux activités métier de la conception (par exemple dans le choix des matériaux, avec le contenu énergétique, le taux de recyclabilité, etc.), ou à l'activité d'analyse environnementale en tant qu'expertise propre (matrices qualitatives, Analyse du Cycle de Vie (ACV), etc.). Ces outils couvrent de nombreux contextes et la littérature propose plusieurs classements [3, 7, 11]. En revanche, l'étude de l'application de ces outils en industrie et leur appropriation par les concepteurs est moins connue [26]. Il existe peu de publications de classements d'outils d'analyse environnementale propres aux industriels et classés par critères contextuels (technologie, type de conception, critères de mesure, etc.). Quand bien même ces bibliothèques existeraient, comment permettre à des outils complémentaires mais différents d'échanger des informations aux sémantiques différentes.

Cette dernière question est relative à la fonction technique, permettant d'assurer l'interopérabilité des outils d'analyse environnementale et de conception. Plusieurs exemples de développement informatiques illustrent ces possibilités, par exemple :

- l'intégration d'outils d'analyse environnementale simplifiée sous la forme de modules, dans un outil de CAO (module "sustainability", de Dassault Systèmes, de choix des matériaux (Eco-Audit dans CES Edupack, développé par Granta Design, etc.).



- l'acheminement de données relatives à la nomenclature produit (matériaux, arborescence produit, procédé de mise en forme, etc.), dans un outil servant de plateforme permettant d'envoyer les données vers un outil d'analyse environnementale (par exemple le "data workbench" développé par Dassault Système, Enovia (en cours)) [25].

Cependant, les outils intégrés peuvent aller à l'encontre du principe de complémentarité des outils d'expertise différentes présentée en première partie. Leur utilisation peut réduire la capacité des concepteurs à avoir une vision transversale nécessaire à la démarche d'éco-conception (vision cycle de vie, transfert d'impacts, impact collatéraux des différents choix pris par les différents métiers, etc.).

Les limites dans les possibilités offertes dans le second exemple (manque de retour dynamique de l'outil d'analyse environnementale vers les métiers de la conception) illustrent la difficulté du système d'information à gérer différents contextes sémantiques des données et à établir des relations entre ces contextes sémantiques. Ces deux limites peuvent être résumées comme suit :

A- une limite dans le dynamisme du système d'information (peu de retour dynamique des informations local-global et global-local). Cette limite freine la capacité des concepteurs à anticiper les besoins venant de l'expertise environnementale

B- une limite dans la flexibilité structurelle offerte par le SI, qui empêche les concepteurs à pouvoir sélectionner et utiliser au besoin les outils d'analyse environnementale nécessaire aux contextes du projet d'éco-conception.

### 1.3 Synthèse des fonctions et présentation des verrous d'intégration, contextuelle et technique :

La section précédente a étudié trois fonctions principales liées à la question de la collaboration entre les concepteurs et l'expertise environnementale en industrie. L'illustration 1 synthétise les verrous à lever par les industriels pour améliorer cette collaboration.

#### Fiche pratique 1 : synthèse de la problématique considérée

**Rappel :** comment aider les **concepteurs** à **collaborer** avec l'**expert environnement** pendant le **processus** de conception quel que soit le **contexte** du projet ?

<b>1 – Intégrer la dimension environnementale en conception :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Objectifs <b>communs</b></li><li>• <b>Partager des connaissances</b> minimale Lier paramètres métier /environnement au plus tôt et en continu</li></ul>	 <b>Verrou d'intégration</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Confusion entre les niveaux local-global</li><li>• Rupture des liens sémantiques et liens de cause à effet entre les paramètres locaux / globaux</li></ul>
<b>2 – Déployer un démarche d'éco-conception</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• S'adapter aux <b>contextes évolutifs</b></li><li>• Avoir à disposition des <b>outils locaux et globaux</b> d'analyse environnementale complémentaires</li></ul>	 <b>verrou Contextuel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Absence de bibliothèque de modèles d'outils environnementaux</li><li>• Ordonnés par critères contextuels</li></ul>
<b>3 – Signifie au niveau du Système d'Information :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Offrir une <b>flexibilité structurelle</b></li><li>• Permettre des <b>échanges dynamiques</b> entre outils différents aux sémantiques différentes</li></ul>	 <b>Verrou Technique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incapacité du système d'information à s'adapter de manière dynamique et flexible aux outils variés et complémentaires que nécessite l'éco-conception</li></ul>

*Illustration 1: Synthèse du positionnement vis-à-vis des verrous à lever pour améliorer la collaboration entre les concepteurs et l'expert environnement en conception*



Face à ses constats, nous posons comme hypothèse que la fédération de modèles fondée sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) contribue à lever ces trois verrous et répondre à la question précédente. Nous proposons aux industriels d'utiliser une méthode fondée sur la fédération d'outils et l'IDM présentée dans la section suivante.

## 2. Proposition

### 2.1 Introduction sur la fédération de modèles d'outils

Il existe trois possibilités pour échanger et intégrer les paramètres environnementaux entre outils différents et manipulant des données différentes : l'intégration, l'unification et la fédération [17].

La première possibilité s'appelle l'intégration et repose sur le concept que tous les modèles s'ont fondés sur un unique méta-modèles (c'est-à-dire une structure établissant des relations entre les modèles de données). Dans le cas de l'analyse environnementale, la fédération nécessite de définir une unique structure de données commune à tous les outils d'analyse environnementale. Compte-tenu du foisonnement des outils d'analyse environnementale développés par les industriels et les chercheurs, cette possibilité semble non adaptée.

La seconde possibilité s'appelle l'unification. Elle repose sur l'utilisation d'un médiateur, ou méta-modèle pivot, soutenant toutes les relations entre modèles différents. L'unification est tout à fait adaptée pour assurer les échanges de données communes entre outils différents. Cependant, l'évolution rapide des outils d'analyse environnementale fait apparaître régulièrement de nouveaux paramètres à prendre en compte (par exemple de nouveaux indicateurs d'impacts environnementaux, une nouvelle formule de calcul de contenu énergétique d'un produit, nécessitant de nouvelles données d'entrées, etc.). Il serait donc difficile aujourd'hui de définir une unique méta-modèle prévoyant l'ensemble des données et des relations entre les données manipulées par tous les outils d'analyse environnementale d'aujourd'hui et de demain.

La troisième possibilité s'appelle la fédération. Elle consiste à définir plusieurs réseaux de méta-modèles liés entre eux. Dès lors, la fédération de modèles est flexible à l'introduction d'un nouvel outil, puisqu'il s'agira uniquement de définir de nouvelles transformations entre le nouveau méta-modèle relatif à ce nouvel outil et chacun des méta-modèles existants, sans avoir à modifier les relations déjà établies entre les méta-modèles existant. Cette possibilité semble donc la plus adaptée pour assurer l'interopérabilité d'outils d'analyse environnementale s'inscrivant dans le contexte des trois verrous précédents.

Pour mettre en oeuvre la fédération, nous proposons d'utiliser l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) (dans le sens des travaux de [13, 14].

### 2.2 Introduction sur l'IDM soutenant la fédération

Chaque outil logiciel contient des modèles de données différents, fondés sur des concepts sémantiques différents, liés entre eux grâce à la fédération. En se plaçant à un niveau d'abstraction supérieur, au niveau des méta-modèles, l'IDM permet de définir des relations entre certains éléments de ces méta-modèles, appelée de manière vulgarisées des "transformations de connaissances", qui, par instanciation permettront aux modèles de déverser leurs contenus (les données) dans les modèles d'un autre [4, 5].

Il apparaît donc que l'IDM offre une certaine modularité au Système d'Information (SI) puisqu'il est possible de définir des "transformations de connaissances" à un niveau de granularité particulièrement fin : notamment en prenant que certains éléments des méta-modèles. D'autre part, le codage des différentes transformations peut se faire de manière hétérogène (utilisation de langages différents par exemple, ou à des moments différents). Ceci offre la possibilité aux développeurs d'implémenter le SI de manière incrémentale. C'est pour ces raisons que nous proposons d'utiliser la fédération supportée par l'IDM dans la proposition.

### 2.3 La méthode FESTivE

La méthode proposée s'appelle la FESTivE pour Federate EcodeSign Tools modELs. La première étape de méthode consiste à identifier les outils utilisés par les concepteurs et par l'analyse environnementale et à créer les méta-modèles associés, ainsi que les transformations entre ces méta-modèles. Ainsi, les données de



sortie d'une activité pourront être les données d'entrée d'une autre. Une fois cette bibliothèque définie, la seconde étape de la méthode consiste à utiliser ces mécanismes afin de permettre un échange dynamique de données entre les activités des concepteurs et de l'expertise environnementale de manière continue durant le processus de conception [22].

### ***La méthode FESTive : étape 1 de création des méta-modèles et transformations de connaissances***

La fiche pratique 2 (illustrations 2 et 3) présentent de manière pratique l'étape 1 de la méthode festive, composée des actions A et B :

- Etape 1-A : définition des modèles de processus à partir de l'étude des activités et des données échangées entre les activités ;
- Etape 1-B : définition des méta-modèles associés aux données d'entrée et de sortie des activités métier, et des transformations nécessaires pour relier ces méta-modèles.

#### **Exemple d'application industrielle : entreprise *Parkeon*<sup>1</sup>**

**L'illustration 2** présente un modèle de processus établis de manière rétroactive, après étude de la conception d'un horodateur dans l'entreprise *Parkeon*. Dans ce modèle, le langage utilisé est l'UML (Unified Modeling Language). Il permet de formaliser les échanges de données ayant eues lieu entre les activités, ou sous-activités. Sur ce modèle de processus sont identifiables les activités "locales" de design, logistique, choix des matériaux, ergonomie, et "globale" d'analyse environnementale.

La méthode propose de se positionner à l'interface des activités locale et de l'activité d'analyse environnementale pour étudier plus précisément les échanges de données ayant lieu.

**L'illustration 3** présente deux propositions de méta-modèle de données d'entrée de l'activité d'Analyse environnementale de type Analyse du Cycle de Vie (ACV) et de sortie de l'activité de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Pour assurer l'échanges de données entre ces deux méta-modèles, les transformations les plus utilisées par les industriels sont : (1) les allocation entre deux termes équivalents, (2) les transformations entre bases de données différentes (gestion des choix multiples), (3) les opérations entre plusieurs données de sortie pour créer une donnée d'entrée (addition, multiplication, conversion, etc.).

### ***La méthode FESTive : étape 2 de déploiement du processus de conception***

L'illustration 4 présente de manière pratique l'étape 2 de la méthode festive, consistant à déployer le processus de conception grâce aux échanges dynamiques d'informations entre méta-modèle contenus dans la bibliothèque créée à l'étape 1.

<sup>1</sup> Site commercial de l'entreprise *Parkeon* : [www.parkeon.fr](http://www.parkeon.fr)

<sup>2</sup> Pour plus de précision, se référer au manuscrit de thèse : M. Rio. A l'interface de l'ingénierie et de l'analyse environnementale, fédération pour une éco-conception proactive. PhD thesis, UTT, 2012.



## Fiche pratique 2 : étape 1 et 2 de la méthode FESTivE

### Etape 1- création des méta-modèles

**A :** Identification des méta-modèles et des transformations en utilisant les modèles de processus : Modélisation du processus par un diagramme d'activité UML (Unified Modeling Language) – illustration par un cas d'étude industriel

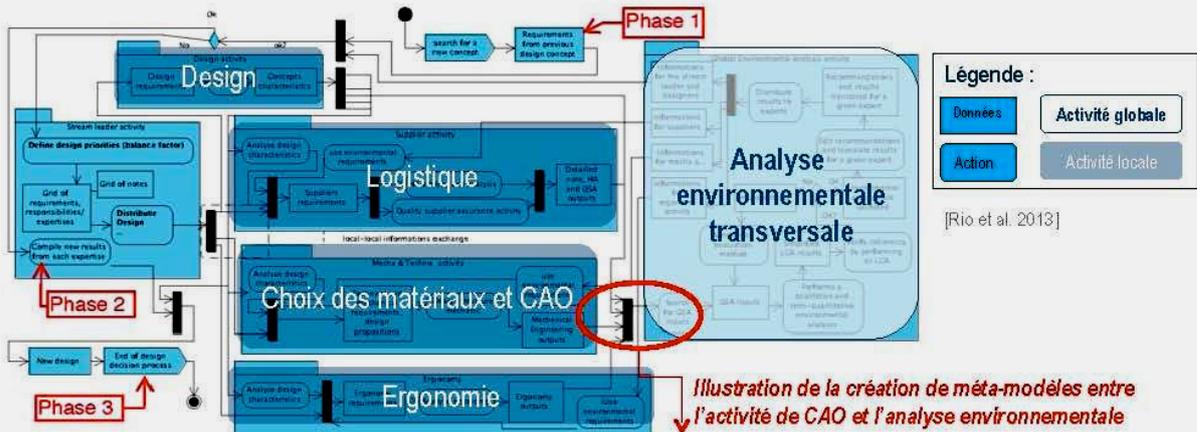


Illustration 2: Etape 1-A de la méthode FESTivE, modéliser le processus de conception

**B :** Création des méta-modèles de la bibliothèque d'outils : modélisation des données d'entrée et de sortie par des diagrammes de classe en UML et définition de transformations de connaissances entre les méta-modèles

*Illustration entre les méta-modèles CAO et d'Analyse du cycle de vie*

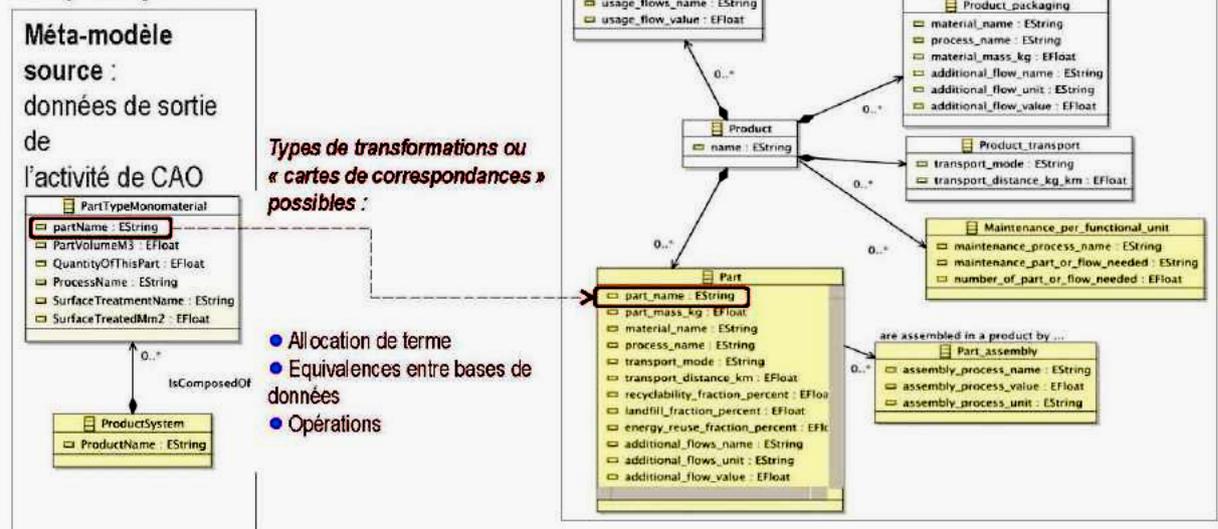


Illustration 3: Etape 1-B de la méthode FESTivE, modéliser les échanges de données entre activités



## Etape 2- Déployer le processus de conception par l'enchaînement des échanges d'informations entre méta-modèles

Illustration des échanges dynamiques d'informations : structure flexible et modulaire du système d'information supportant les liens entre outils locaux/globaux complémentaires

✓ Différentes cardinalités : 1 vers 1 ; n vers 1 ; 1 vers n

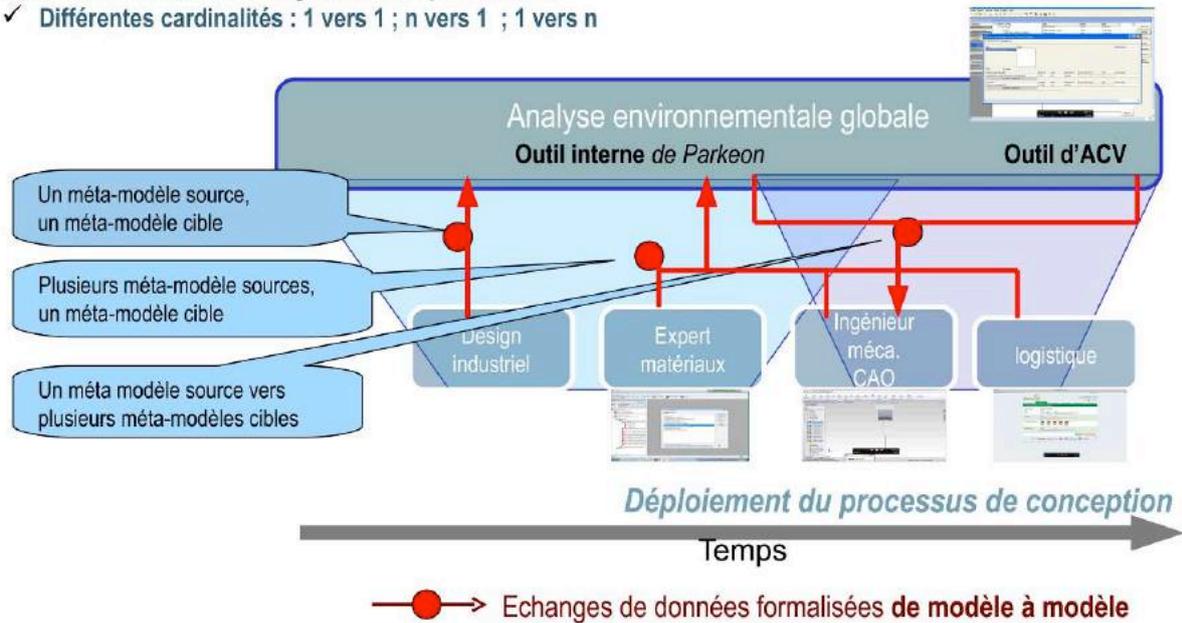


Illustration 4: Etape 1-B de la méthode FESTivE, modéliser les échanges de données entactivités



### 3. Validation par les cas d'étude en industrie

La validation de ces travaux de recherche est de type expérimentale et réalisée en industrie [3]: par les faits (recherche action et discussion avec les parties prenantes de l'entreprise) et par les questionnaires en utilisant l'échelle de Likert. La méthode de recherche utilisée a été celle de la DRM (Design Research Methodology) [6]. Les critères de validation utilisés sont relatifs à la question de recherche et aux verrous d'intégration, contextuel et technique. Ces critères sont présentés dans le tableau 1 suivant. Des prototypes ont été développés dans les entreprises Parkeon et Quiksilver pour valider la faisabilité technique et la praticité de FESTivE en industrie. Des maquettes ont été créées dans les entreprises Parkeon et Quiksilver pour valider les aspects pratiques liés aux effets de l'utilisation des interfaces pour les concepteurs lors du déploiement du processus de conception. Ces expérimentations ont été conduites respectivement dans ces deux entreprises sur 24 et 18 mois de collaboration, impliquant plusieurs métiers de la conception, ainsi que d'autres services comme la logistique ou le service informatique. Le développement du prototype s'est effectué avec la contribution d'un informaticien, ingénieur de recherche (laboratoire LSIS, Arts et Métiers ParisTech).

**Tableau 1: critères de validation, supports utilisés en industrie et résultats obtenus**

Support de validation	Critère de validation	Résultat : Critères globaux influencés
Prototypes industriels dans les entreprises : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parkeon</li> <li>• Quiksilver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité d'implémentation</li> <li>• Temps de développement</li> <li>• Coût</li> <li>• Adéquation des outils informatiques / besoins</li> <li>• Facilité de faire évoluer les modèles, co-construction métier/informaticien</li> <li>• Modularité du code, incrémentabilité</li> </ul>	Bonne faisabilité et praticité en industrie
Maquettes utilisées en industrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praticité d'utilisation (intégration, ergonomie)</li> <li>• Lien entre paramètre métier et paramètre environnemental</li> <li>• Formalisation des données</li> <li>• Temps par échange</li> <li>• Capacité matérielle et intellectuelle de réagir</li> <li>• Flexibilité dans les choix des outils et connaissances</li> </ul>	Favorise l'augmentation de la proactivité entre les concepteurs et l'expertise environnementale

Les résultats de ces expérimentations mettent en lumière trois apports fondamentaux de l'utilisation de la méthode FESTivE en industrie [22]:

1. Adaptation à la variabilité des contextes des projets d'éco-conception : flexibilité du système d'information par rapport aux outils choisis ;
2. Détection et échanges dynamiques d'information disponibles ;
3. Lien entre paramètre environnementaux et paramètres locaux au plus tôt et de manière continue durant le processus de conception.

L'analyse de ces résultats montre que la méthode FESTivE est applicable en industrie et a pour effet de favoriser la proactivité entre les concepteurs et l'expertise environnementale en permettant aux concepteurs de pouvoir anticiper les besoins environnementale et de pouvoir y répondre de manière adaptée et rapide <sup>2</sup>.

Quelques limites du travail effectué sont à remarquer pour améliorer le développement de la méthode FESTivE en industrie. La première limite à trait au caractère restreint de l'échantillon d'entreprises ayant participé à ce développement. Il est nécessaire à présent de développer la méthode FESTivE de manière quasi-autonome dans l'entreprise afin de mesurer à 100% les gains ou pertes relatives aux critères de validation. La seconde limite est liées à l'implication des personnes dans ce développement qui influence

<sup>2</sup> Pour plus de précision, se référer au manuscrit de thèse : M. Rio. A l'interface de l'ingénierie et de l'analyse environnementale, fédération pour une éco-conception proactive. PhD thesis, UTT, 2012.



trois facteurs :

- L'apprentissage des personnes : l'informaticien devient plus proche des besoins venant des concepteurs ;
- Le choix d'une tactique et stratégie environnementale cohérente chez les industriels pour choisir des outils adaptés et mesurer les gains de l'allocation des ressources liées à la pratique de l'éco-conception ;
- La dynamique de changement : motivation, réorganisations nécessaires, stratégie et tactique environnementale clairement exprimées, etc.

La troisième limite du développement de la méthode en industrie vient de sa nature innovante : la fédération supportée par l'IDM est une technique « jeune » en développement et la pratique de l'éco-conception en industrie n'est pas encore stabilisée et s'avère particulièrement complexe pour les industriels.

## 4. Conclusion et perspectives industrielles et académiques

En conclusion, la méthode FESTivE s'inscrit dans un contexte industriel pour aider les concepteurs à pratiquer l'éco-conception. Le parti pris est de favoriser la collaboration (communication et échanges d'informations) entre l'expertise environnementale et les autres concepteurs intervenant en conception. Les étapes de la méthode, résumées dans les fiches pratiques, peuvent être suivies par le travail conjoint des concepteurs et des informaticiens. Le développement du système d'information soutenant peut se faire de manière incrémentale. De plus, les méta-modèles ne contiennent pas de données réelles et en ce sens pourraient être partagées de manière communautaire entre les entreprises.

Ces recherches s'inscrivent dans le cadre du projet Convergence (2011-2014), réunissant industriels et laboratoires de recherche pour développer un outil de pilotage global des entreprise à trois modules : stratégique, tactique et opérationnel. Ces trois modules sont respectivement enrichis par les travaux de Romain Allais [2], Feng Zhang [29] et le développement de la méthode FESTivE.

## Bibliographie

- [1] ISO (International Organization for Standardization) *Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework. ISO 14040-44: 2006*. ISO, 2006.
- [2] R. Allais, T. Reyes, and L. Roucoules. Vers l'intégration du territoire dans la définition des stratégies d'entreprises. *Coleit, méthodes, outils et instruments au services de l'écologie industrielle et territoriale*, pages 1–10, 2012.
- [3] A. Barth, E. Caillaud, and B. Rose. How to validate research in engineering design ? *International conference on engineering design ICED11*, pages 1–11, August 15-18 2011.
- [4] J. Bézivin. *RSTI L'objet, où sont les objets?* , chapter Sur les principes de base de l'ingénierie des modèles, pages 145–156. November 2004.
- [5] J. Bézivin, F. Jouault, P. Rosenthal, and P. Valduriez. *MDAFA 2003/2004, LNCS 3599*, chapter Modeling in the Large and Modeling in the Small, pages 33–46. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- [6] L. T. Blessing and A. Chakrabarti. *DRM, a Design Research Methodology*. Number ISBN 978-1-84882-586-4 DOI 10.1007/978-1-84882-587-1. Springer-Verlag, London, 2009.
- [7] M. D. Bovea and V. Pérez-Belis. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, 20(1):61–71, 1 2012.
- [8] D. Brissaud, S. Tichkiewitch, and P. Zvolinski. *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*. Springer, 2006.
- [9] D. Brissaud and P. Zvolinski. End-of-life-based negotiation throughout the design process. *Original Research Article CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53(1):155–158, 2004.
- [10] E. Caillaud. *Connaissances et compétences en industrie manufacturière : Réactivité par la coopération*. L'Institut National Polytechnique de Toulouse Spécialité : Génie des Systèmes Industriels, 2000.
- [11] CETIM, AFNOR, A. et Métiers ParisTech, UNM, C. Saint-Etienne, Carma, A. Authier, F. Barnabe, R. Chaouy, D. Froelich, D. Koplewicz, S. Mayer, L. Meleton, P. Rober, C. Simone, and S. L. Pochat. Xpe01005 produits mécaniques méthodologie d'éco-conception, Mars 2009.



Maud Rio

Fiche Pratique Module Opérationnel – Projet ANR Convergence

- [12] W. Dewulf. *A Pro-Active Approach to Ecodesign: Methods and Tools, Ecodesign in central America*. Isbn 90-5682-419-8, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 2003.
- [13] M. Iraqi, M. Kleiner, and L. Roucoules. Model-based (mechanical) product design. In *MoDELS 2011*, pages 548–562, 2011.
- [14] M. Iraqi, M. Kleiner, and L. Roucoules. Tools interoperability in engineering design using model-based engineering. In *Proceedings of the 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA2012*, France, July 2012.
- [15] G. Lipovetsky and S. Charles. *Les temps hypermodernes*. Biblio essais, le livre de poche, 2004.
- [16] D. Millet. *Intégration de l'environnement en conception, l'entreprise et le développement durable*. Hermes Science, 2003.
- [17] T. Paviot. *Méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité dans le domaine du Product Lifecycle Management*. PhD thesis, Ecole Centrale Paris, 2010.
- [18] S. Plouffe, P. Lanoie, C. Berneman, and M.-F. Vernier. Economic benefits tied to ecodesign. *Journal of Cleaner Production*, 19:573e579, 2011.
- [19] T. Reyes, D. Millet, and M. Joan. Development of ecodesign integration trajectories: two surveys and lca case study with a power distribution product study with a power distribution product. In *International conference on engineering design, ICED'07*, Paris, August 28-31 2007.
- [20] M. Rio, T. Reyes, and L. Roucoules. A framework for eco-design : an interface between lca and design process. *International Journal of Engineering*, IX(1):121–126, 2011.
- [21] M. Rio, T. Reyes, and L. Roucoules. Toward proactive eco-design based on engineering and eco-desiner's software interface modeling. *International conference on engineering design ICED11*, 2011.
- [22] M. Rio, T. Reyes, and L. Roucoules. Toward proactive (eco)design process: modeling information transformations among designers activities. *Journal of Cleaner Production*, 39(0):105 – 116, January 2013.
- [23] J. Rockström, W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. A. Foley. A safe operating space for humanity. *NATURE*, 461(24), September 2009.
- [24] G. Solhénus. Concurrent engineering. *Annals of the CIRP*, 41(2), 1992.
- [25] J.-P. Theret, P. Zwolinski, and F. Mathieux. Integrating cad, plm and lca: a new architecture and integration proposal. *International Conference on Renewable Energy and Eco-Design in Electrical Engineering (Lille)*, March 2011.
- [26] F. Vallet, D. Millet, and B. Eynard. How ecodesign tools are really used- requirements list for a context-related ecodesign tool. *CIRP 2010*, 2010.
- [27] C. van Hemel and J. C. b. Barriers and stimuli for ecodesign in smes. *Journal of Cleaner Production*, 10:439–453, 2002.
- [28] R. Winner, J.P.Pennell, H.E.Bertrand, and M.M.G.Slusarezuk. The role of concurrent engineering in weapons system acquisition. Technical report, IDA Report R-338. Alexandria Va.: Institute for Defense Analyses, 1988.
- [29] F. Zhang and P. Zwolinski. Toward unified environmental activities in entreprise. In *International design conference - Design 2012*, Dubrovnik, Croatia, May 21-24 2012.