



**HAL**  
open science

## Configurateur et modeleur CAO : deux outils complémentaires pour l'aide à la conception de produits à forte diversité

Khaled Hadj-Hamou, Michel Aldanondo, Jacques Lamothe, Emmanuel Caillaud

### ► To cite this version:

Khaled Hadj-Hamou, Michel Aldanondo, Jacques Lamothe, Emmanuel Caillaud. Configurateur et modeleur CAO : deux outils complémentaires pour l'aide à la conception de produits à forte diversité. International Journal of Design and Innovation Research, 2002, 3 (n° 1-2), p. 81-95. hal-01847767

**HAL Id: hal-01847767**

**<https://hal.science/hal-01847767v1>**

Submitted on 8 Nov 2019

**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.

# CONFIGURATEUR ET MODELEUR CAO

## Deux Outils Complémentaires pour l'Aide à la Conception de Produits à Forte Diversité

K. HADJ HAMOU, M. ALDANONDO, J. LAMOTHE et E. CAILLAUD

Centre Génie Industriel, Ecole des Mines d'Albi  
Campus Jarlard – 81013 Albi CT Cedex 9  
Tel. (+33) 05 63 49 32 66 – Fax. (+33) 05 63 49 31 83  
Khaled.Hadjhamou@enstimac.fr

---

### **Résumé**

*Cet article traite de la problématique d'aide à la conception de câblages automobiles. Ce produit est caractérisé par une grande diversité issue de la personnalisation des besoins ainsi que par un aspect géométrique important. Dans ce contexte, notre objectif est de définir progressivement le produit à partir de l'expression du besoin. Nous proposons alors une démarche de développement du câblage et les outils d'assistance appropriés.*

*Notre démarche vise la réduction du cycle et des erreurs de conception et la maîtrise des coûts de production et de logistique. La mise en œuvre d'une telle démarche se fait par l'exploitation des connaissances précédemment acquises. La prise en compte de la diversité du besoin s'effectue par une approche de configuration qui consiste à identifier une nomenclature du produit. Les aspects géométriques et d'agencement des composants nécessitent le couplage du configurateur avec un modèleur CAO. Nous montrons, dans notre cas, comment ces deux outils peuvent se compléter pour assister le concepteur.*

### **Mots clés**

*Aide à la Conception, Modèles Produit, Configurateur, CSP, Outils CAO.*

---

## **1. INTRODUCTION**

La conception de produits satisfaisant les besoins spécifiques et hétérogènes des clients est d'un intérêt central pour beaucoup d'entreprises. Suivant l'évolution du marché, les produits deviennent de plus en plus complexes et personnalisables. Le nombre de variantes d'un même produit augmente et les délais de livraison sont de plus en plus courts. Dans le domaine automobile, la diversification continue dans l'offre est liée à l'évolution de la demande et à la

multiplication des systèmes présents dans les voitures. Ces systèmes présentent de fortes diversités fonctionnelle et physique. A titre d'exemple, les modèles de voitures voient leur nombre de variantes évoluer considérablement [1] [2] : 11 variantes pour la Renault 4 (1963), 60000 variantes pour la Renault 18 (1982) et atteint 175000 variantes pour la Peugeot 306. Cette diversité est en grande partie le résultat de l'évolution technologique, surtout des systèmes électriques et électroniques embarqués. En conséquence, le câblage réalisant les connexions entre les composants électriques devient de plus en plus complexe. Actuellement, il représente environ 10 % du coût total d'une voiture [3].

En réponse à l'évolution de la complexité du câblage, l'aide à sa conception nécessite des outils d'assistance permettant d'une part de guider le concepteur vers des solutions satisfaisantes, donc vers des choix cohérents et d'autre part, d'accélérer la génération des solutions et d'aider ainsi à évaluer et comparer celles-ci pour un choix final.

Le contexte de notre étude concerne les processus routiniers de conception dans le sens où les concepteurs s'appuient sur des études antérieures [4]. Traditionnellement, ils utilisent des outils d'assistance de type modeler CAO pour sélectionner les composants du câblage et pour définir sa géométrie. La sélection des composants et la définition de la géométrie du produit sont limitées par les choix du constructeur automobile, donc du besoin client, et des contraintes métiers plus orientées technologie de réalisation. Cependant, le besoin client en câblage est caractérisé par une forte diversité. La configuration de produits permet de supporter cette diversité. Elle consiste à identifier l'ensemble des composants remplissant un besoin. Elle se base sur un modèle du produit générique capable de représenter une famille de produits avec toutes ses variantes possibles [5] [6] [7] [8]. L'instanciation de ce modèle se fait progressivement en interaction avec le concepteur et le client.

Dans la littérature, beaucoup de travaux et d'outils d'assistance pour la conception mécanique

ont été développés [9]. Par contre, dans le domaine de l'assemblage électrique peu de démarches ont été proposées [10]. En réponse à ce constat et à un besoin industriel, nous avons centré cette étude sur le développement du câblage électrique pour l'automobile.

Dans la première partie, nous définissons le câblage automobile, sa diversité et ses modes de production et de logistique. La compréhension du produit nous permet de détailler, dans la seconde partie, la démarche de conception que nous proposons. Dans la troisième partie, nous détaillons les approches et outils d'assistance associés à cette démarche. Nous illustrons notre étude par un exemple issue d'une application industrielle.

## **2. LE PRODUIT : DEFINITION ET PROCESSUS INDUSTRIELS**

Dans cette partie, nous introduisons les différentes caractéristiques du câblage électrique. Nous fournissons des éléments relatifs à sa production et à son assemblage. Nous définissons enfin, selon le niveau de diversité offerte aux utilisateurs, trois scénarios de demande de conception du câblage et les solutions apportées par le concepteur pour chaque situation.

### **2.1. Définition**

Selon qu'il soit l'utilisateur final de la voiture, le constructeur ou le concepteur (équipementier automobile), le câblage électrique peut être vu différemment.

Pour l'utilisateur final, le câblage électrique est un support physique pour les fonctions électriques qui répondent à son besoin. Ces fonctions se déclinent en six grandes familles : sécurité, sûreté, confort, éclairage et signalisation, cockpit, et contrôle moteur. Une décomposition fonctionnelle et hiérarchique du câblage est illustrée en détail dans [11].

L'ensemble des fonctions électriques peut se décomposer en deux sous-ensembles :

- fonctions obligatoires et présentes dans tout modèle de voiture, par exemple : feux de code, feux de stop. Elles sont de l'ordre d'une centaine.

- fonctions optionnelles, exigées par le constructeur automobile pour répondre à un besoin de l'utilisateur final, par exemple : lève-vitre électrique, airbags latéraux. Elles sont de l'ordre d'une quarantaine.

Donc, avant tout, le câblage est vu comme un ensemble de fonctions et sous-fonctions électriques. Une fonction peut avoir plusieurs niveaux de sophistication selon le choix d'un utilisateur, selon le constructeur automobile et selon le modèle de voiture [11]. Par exemple la fonction réglage des rétroviseurs latéraux peut être définie du niveau réglage manuel au niveau réglage électrique avec rabattement automatique en position de marche arrière.

Des attributs peuvent également caractériser les niveaux de sophistication des fonctions, par exemple la fonction lève-vitres électrique avec les deux modes automatique et à impulsion, le nombre de haut-parleurs pour l'autoradio.

Pour le concepteur, le câblage électrique est un faisceau nécessaire à l'alimentation et au fonctionnement de tous les systèmes électriques embarqués dans une voiture. C'est un produit assemblé constitué de composants élémentaires : fils, connecteurs, fusibles, relais, calculateurs (boîtiers électroniques) et protections. Les composants élémentaires peuvent être standard, comme les connecteurs ou paramétrables comme les fils caractérisés par des attributs (longueur, puissance). Les éléments du câblage assurent les connections entre les différents composants d'acquisition d'information (boutons, capteurs) et les composants actionneurs (moteurs, lampes), comme le montre la figure 1.

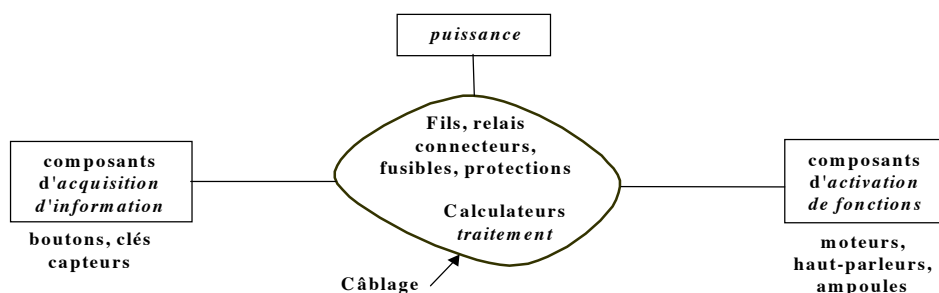


Figure 1. Composants et éléments terminaux d'un câblage électrique

Pour répondre à la demande des utilisateurs, le constructeur automobile transmet leurs besoins (fonctions électriques) à l'équipementier pour concevoir et fabriquer le câblage correspondant à ces fonctions (liste de composants). En conséquence, le constructeur automobile, comme acteur intermédiaire entre l'utilisateur et le concepteur, s'intéresse aux deux points de vue fonctionnel et physique du câblage.

Nous considérons que les composants d'acquisition d'information et les actionneurs ne sont pas des constituants du câblage. Ils représentent les éléments terminaux du câblage.

## **2.2. Processus industriels du câblage**

Le mode opératoire de réalisation des câblages peut faire apparaître trois types de procédés.

- fabrication des composants élémentaires : boîtiers électroniques, connecteurs, ...
- assemblage des sous-ensembles physiques ou fonctionnels,
- assemblage final des câblages.

Si le câblage n'est pas décomposé en sous-ensembles, le schéma industriel comprend généralement (i) un ou plusieurs sites de fabrication de composants et (ii) un site d'assemblage final proche de chaque ligne d'assemblage du constructeur.

Si le concepteur choisit de décomposer le câblage, son schéma industriel est composé de (i) un ou plusieurs sites de fabrication de composants, (ii) plusieurs sites d'assemblage des sous-ensembles et (iii) un site proche du constructeur pour l'assemblage final.

Dans le cas de livraison de sous-ensembles au constructeur, le schéma industriel comprend (i) un ou plusieurs sites de fabrication de composants et (ii) des sites d'assemblage de sous-ensembles de câblage souvent délocalisés pour bénéficier de plus faibles coûts.

En conséquence, le choix de décomposer ou non le câblage en plusieurs sous-ensembles permet de donner une latitude à la définition de la chaîne logistique.

### **2.3. Le concepteur face à la diversité du besoin**

Les besoins des utilisateurs sont divers et pour y répondre, le constructeur automobile a plusieurs scénarios.

- **Scénario 1** : Le constructeur automobile commande la conception et la fabrication d'un câblage qui correspond strictement au besoin spécifique de l'utilisateur. Pour ce type de voiture, généralement haut de gamme, l'utilisateur final dispose d'un panel important de choix des niveaux de sophistication des fonctions. La conception de ce câblage est fondée sur une diversité importante et un faible volume en production. C'est un cas rarement rencontré en industrie automobile.
- **Scénario 2** : Le constructeur automobile propose aux utilisateurs une seule version de voiture du point de vue électrique. Le concepteur développe alors une seule solution de câblage pour toutes les voitures. Pour ce cas extrême, il est possible d'automatiser la fabrication du câblage et de le produire sur stocks. La conception de ce câblage est fondée sur une diversité nulle et un fort volume en production dans une optique de minimisation des coûts.
- **Scénario 3** : Le constructeur automobile regroupe tous les besoins des utilisateurs en plusieurs packs, par exemple packs de luxe, de base. Un pack est défini par un ensemble de fonctions et sous-fonctions électriques de différents niveaux de sophistication. Pour chaque pack, le concepteur développe et fabrique une variante du câblage. Cette solution intermédiaire, adoptée par la plupart des constructeurs automobile, met en évidence l'opposition entre les deux premières conceptions et implique un équilibre entre le coût de gestion de la diversité (variété du câblage) et les coûts de production. Ce type de câblage est souvent décomposé en plusieurs sous-ensembles permettant de délocaliser la production des sous-ensembles d'un câblage et bénéficier de coûts faibles.

Pour le dernier scénario, le plus fréquent en industrie automobile, la problématique d'aide à la conception consiste à identifier le nombre de packs permettant de segmenter au mieux le besoin des utilisateurs et de définir chacun des packs. La conception d'un pack correspond à l'identification et à la définition des fonctions qui le constituent. Une solution de conception est un ensemble de packs définis. Notre objectif est de proposer une ou plusieurs solutions de conception et d'évaluer le coût total de chaque solution [12].

Nous proposons une démarche de conception et des outils d'assistance capables de générer rapidement des solutions de câblage, de les évaluer et de les comparer pour un choix final. Ces outils doivent tenir compte de la diversité du besoin à satisfaire.

### **3. DEMARCHE DE CONCEPTION PROPOSEE**

Le déroulement d'un processus de conception d'un produit revient à exécuter les différentes étapes et phases qui le caractérisent à travers lesquelles le produit est défini progressivement, des caractéristiques fonctionnelles aux représentations géométriques [13].

Nous détaillons, dans cette partie, la démarche que nous proposons pour la conception d'un pack et dégageons les besoins d'aide. Cette démarche se décompose en deux grandes étapes :

1. Identification et traitement de la diversité des besoins des clients.
2. Agencement et prise en compte des contraintes géométriques.

Ces deux étapes comportent plusieurs phases successives au cours desquelles un besoin client se transforme en un produit totalement défini.

Cette démarche débouche sur une troisième étape d'évaluation du coût total d'une solution de câblage que nous ne détaillons dans ce papier.

#### **3.1. Etape 1 : Identification et traitement du besoin pour un pack**

Le concepteur est confronté, en interaction avec le constructeur automobile, à une forte



diversité du besoin. Cette étape se décline en deux phases principales : la définition fonctionnelle et la définition électronique du pack. L'objectif principal de cette étape est de déterminer une nomenclature du pack de câblage.

### **3.1.1. Définition fonctionnelle d'un pack de câblage**

L'objectif de cette phase est de prendre en compte le besoin des utilisateurs recueilli et exprimé par le client constructeur en termes de choix. Cette phase correspond à :

- **Sélection des fonctions et sous-fonctions électriques.**

Le concepteur sélectionne et valide toutes les fonctions et sous-fonctions qui constitueront le pack. Des familles de fonctions comme l'éclairage, la sécurité, la sûreté, sont présentes dans toute variante de voiture. Ces familles de fonctions se déclinent en plusieurs sous-fonctions qui peuvent être soit optionnelles (lève-vitre électrique, airbags latéraux) ou obligatoires (feux code, lumière intérieure).

- **Evaluation des caractéristiques de chaque fonction et sous-fonction.**

Le concepteur sélectionne et définit, pour chaque sous-fonction identifiée, les composants d'acquisition d'information, leur nature et leur nombre (boutons, capteurs) et les composants actionneurs (moteur lève-vitre, lampes). Le concepteur choisit des caractéristiques ergonomiques des fonctions du pack. L'exemple de la fonction lève-vitres avant montre que le concepteur a le choix entre l'utilisation de quatre boutons (deux pour chaque vitre, un pour le mode automatique et l'autre pour le mode à impulsion) ou deux boutons (un pour chaque vitre assurant les deux modes automatique et à impulsion). Des choix de positionnement ergonomique de chaque composant complètent cette phase. Par exemple, les boutons lève-vitres électriques peuvent être situés sur les deux portes avant ou sur le tableau de bord.

- **Vérification de la cohérence des choix.**

Le concepteur vérifie que tous les choix de fonctions et de caractéristiques pour un pack sont cohérents. Par exemple, le système anti-pincement pour la fonction lève-vitre électrique existe seulement dans le cas du mode automatique (mouvement continu de la vitre). Les contraintes limitant les choix peuvent être diverses : contraintes ergonomiques, de compatibilité de fonctions et de caractéristiques de fonctions, limitation des composants à connecter, contraintes technologiques (de métiers).

Le résultat de cette première phase est une liste de liens logiques entre les différents capteurs et actionneurs identifiés pour chaque fonction électrique.

### **3.1.2. Définition électronique d'un pack**

Autrefois, les architectures de câblage développées étaient composées uniquement de capteurs et d'actionneurs connectés par des fils. Actuellement, l'introduction et le développement de boîtiers électroniques permettent de traiter et d'intégrer plus de fonctions et d'équipements électroniques. La définition électronique d'un pack s'effectue en deux sous-phases.

- **Identification des boîtiers électroniques.**

Dans cette phase, le concepteur identifie le nombre, la nature et les emplacements géographiques de tous les boîtiers électroniques. Généralement, un boîtier électronique est dédié soit à une famille de fonctions (contrôle moteur, sécurité) soit à une zone géographique de la voiture (les portes, moteur). Un boîtier électronique est utilisé pour les traitements électronique et informatique d'une ou plusieurs fonctions.

- **Association des boîtiers électroniques aux différentes fonctions.**

Le choix d'une définition électronique consiste à associer un ou plusieurs boîtiers électroniques à chaque fonction, sous-fonction, capteur et actionneur déjà identifiés dans

le schéma logique de la première phase en respectant toutes les contraintes (exemple de contraintes de puissance, du nombre de boîtiers électroniques).

Le résultat de cette phase est un schéma logique détaillé du pack avec les boîtiers électroniques associés pour traiter les fonctions. La figure 2 illustre un exemple de deux schémas logiques de la fonction lève-vitres électrique : un schéma sans calculateurs et un autre avec un calculateur associé à chaque porte (conducteur et passager).

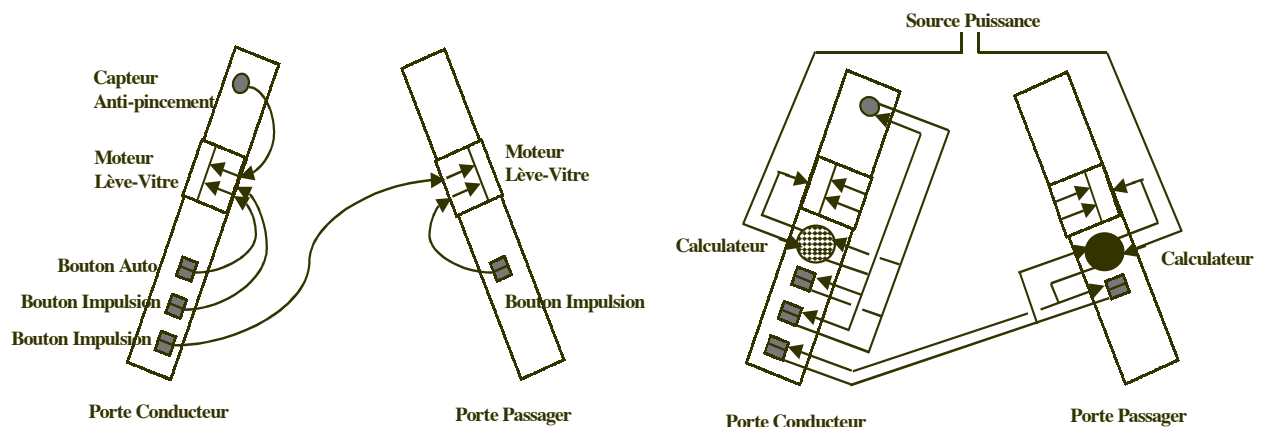


Figure 2. Schémas logiques de la fonction lève-vitres électrique

### 3.1.3. Les besoins d'aide

L'analyse de la première étape de notre démarche met en évidence une diversité importante du besoin de l'utilisateur final de la voiture. Cette diversité est caractérisée par une forte combinatoire dans les choix possibles de fonctions, de sous-fonctions, de composants et de leurs caractéristiques. Pour aider le déroulement de cette étape (définitions fonctionnelle et électronique) et pour mieux gérer la diversité externe, nous proposons une approche par configuration.

### 3.2. Etape 2 : Agencement et prise en compte des contraintes géométriques

L'objectif de cette étape est de fournir un schéma physique et détaillé d'un pack de câblage par le calcul des positionnements exacts des composants d'acquisition d'information et des actionneurs. Elle consiste également à remplacer les liens logiques par des fils électriques.

Nous avons décomposé cette étape en deux phases complémentaires : la définition électrique et éventuellement une décomposition du pack en sous-ensembles fonctionnels ou physiques.

### **3.2.1. Définition électrique d'un pack**

La définition électrique d'un pack de câblage comprend deux sous-phases.

#### **- Localisation exacte des composants.**

Le constructeur automobile fournit au concepteur du câblage une ou plusieurs représentations géométriques de la caisse d'un modèle de voiture. Cette représentation est un référentiel, généralement en trois dimensions, où les emplacements possibles alloués aux différents composants (d'acquisition d'information, les actionneurs et les boîtiers électroniques) sont localisés par des coordonnées spatiales. Le concepteur identifie les coordonnées spatiales exactes des composants par la superposition de la représentation géométrique avec le schéma logique défini dans la première étape.

#### **- Routage et regroupement des fils.**

Le concepteur remplace les liens logiques du schéma du pack par des fils électriques (fils de puissance et fils d'information). Pour cela, il route les fils suivant des schémas d'architecture qui définissent les chemins possibles pour les fils. Les éléments terminaux des fils représentent les connecteurs. Sachant qu'un chemin peut contenir un ou plusieurs fils, le concepteur regroupe les fils pour former des branches (torons de fils) sous des contraintes de non-rigidité limitant le nombre de fils à regrouper sur une même branche. Il est également possible qu'un ensemble de fils, routé sur un même chemin et ayant les mêmes caractéristiques, soit remplacé par un seul fil (c'est le cas des fils utilisés pour fournir de la puissance ou de bus pour l'échange d'information entre boîtiers électroniques). Cette pratique permet de réduire le nombre de fils et le nombre de connecteurs à utiliser.

Le résultat de cette phase est un schéma physique et détaillé du pack de câblage. La figure 3 montre un schéma physique de l'exemple de la fonction lève-vitres définie précédemment.

### 3.2.2. Décomposition d'un pack

Pour prendre en compte les contraintes d'implantation de moyens de production (multi-sites de fabrication et d'assemblage) et les contraintes constructeur automobile (montage du câblage en milieu de chaîne), le concepteur décompose le pack final du câblage en plusieurs sous-ensembles fonctionnels (câblage éclairage, câblage sécurité par exemple) ou physiques (par exemple câblages arrière, du toit, des portes). Cette décomposition génère une diversité interne du nombre de références de sous-ensembles à gérer en production et en logistique.

Le résultat de cette phase est un ensemble de références de sous-ensembles du pack. La décomposition du câblage de la fonction lève-vitres avant en deux sous-ensembles physiques (porte conducteur et porte passager) est illustrée par la figure 3.

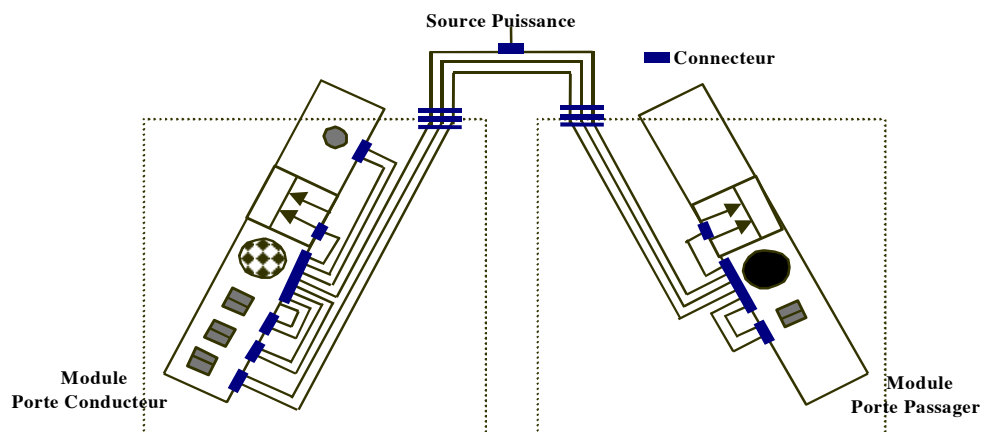


Figure 3. Schéma physique de la fonction lève-vitres avec deux sous-ensembles physiques

### 3.2.3. Les besoins d'aide

La seconde étape traite de l'agencement et de positionnement géographique des composants. Elle est mise en œuvre pour la prise en compte des contraintes géométriques. Pour aider le déroulement de cette étape, nous préconisons un modelleur CAO.

#### **4. OUTILS D'ASSISTANCE**

Une conception de produits à forte diversité sans démarche ni connaissance capitalisée génère d'une part des erreurs de conception et d'autre part un processus itératif et long rendant difficile l'étude de plusieurs solutions. En réponse à ce constat, nous préconisons une approche supportée par des outils exploitant des modèles génériques modélisant la connaissance relative au produit. Ces outils aident le concepteur à instancier ces modèles génériques, rapidement et sans erreur, pour déboucher sur des modèles spécifiques. L'objectif est donc de réduire le cycle et les erreurs de conception [4].

Pour assister la première étape de la démarche, nous proposons une approche assistée par un configurateur. Pour la seconde étape, l'utilisation d'un modèleur CAO reste inévitable.

##### **4.1. Configuration et outil d'aide**

Les produits personnalisables sont réalisés à partir d'une combinaison de fonctions et de composants élémentaires prédéfinis. Pour satisfaire le besoin et les exigences du client, il est nécessaire de sélectionner ces fonctions et ces composants. Cette sélection correspond à la fonction de configuration. La configuration est indissociable d'un modèle de produit générique et donc d'une capitalisation de la connaissance relative au produit. La plupart des auteurs définissent la configuration comme la recherche d'un ensemble de fonctions et d'un ensemble de composants satisfaisant les besoins du client et respectant le modèle du produit générique [5] [7] [8] [14]. La configuration génère alors une liste de composants et éventuellement des valeurs d'attributs caractérisant ces composants.

L'outil d'assistance, le configurateur [15], dans lequel est implanté le modèle du produit générique, permet d'instancier ce modèle générique rapidement et sans erreur [16]. En effet, lors de la configuration, les choix sont effectués l'un après l'autre et les conséquences de chaque choix sont propagées sur les choix non effectués.

Nous avons décomposé la première étape de notre démarche en deux phases : définition fonctionnelle et définition électronique. Pour chacune de ces phases, il est possible de construire un modèle générique. Le formalisme utilisé est celui des DCSP (Dynamic Constraint Satisfaction Problem) proposés par Mittal et Falkenhainer [17] et illustrés sur des exemples dans [7]. Dans la suite, nous détaillons un exemple de modèle générique uniquement pour la première phase. Pour la deuxième phase (définition électronique), un exemple est présenté dans [12].

L'objectif de la première phase est de générer des liens logiques entre les composants capteurs, actionneurs et puissance qui correspondent aux besoins fonctionnels du client et qui respectent le modèle générique. Le modèle générique est capable de représenter toutes les possibilités des liens logiques. L'exemple de la figure 4 présente une modélisation de la fonction lève-vitres avant (portes conducteur et passager). Les variables correspondent aux composants et aux caractéristiques de la fonction. La partie gauche du modèle décrit les caractéristiques de la fonction lève-vitres. Chaque caractéristique, représentée par une variable, est définie par un ensemble de valeurs possibles. Le choix de la valeur d'une variable est limité par des contraintes de compatibilité et des contraintes d'existence. Dans le modèle de la figure 4., les variables représentent par exemple : lève-vitre porte conducteur (électrique ou manuel), le système anti-pincement (existe ou non), la localisation des commandes (sur les portes ou sur le tableau de bord). L'instanciation de ces variables implique des choix de composants capteurs et actionneurs. D'autres contraintes de compatibilité et d'existence limitent les choix de composants. Elles sont illustrées dans la partie droite de la figure 4.

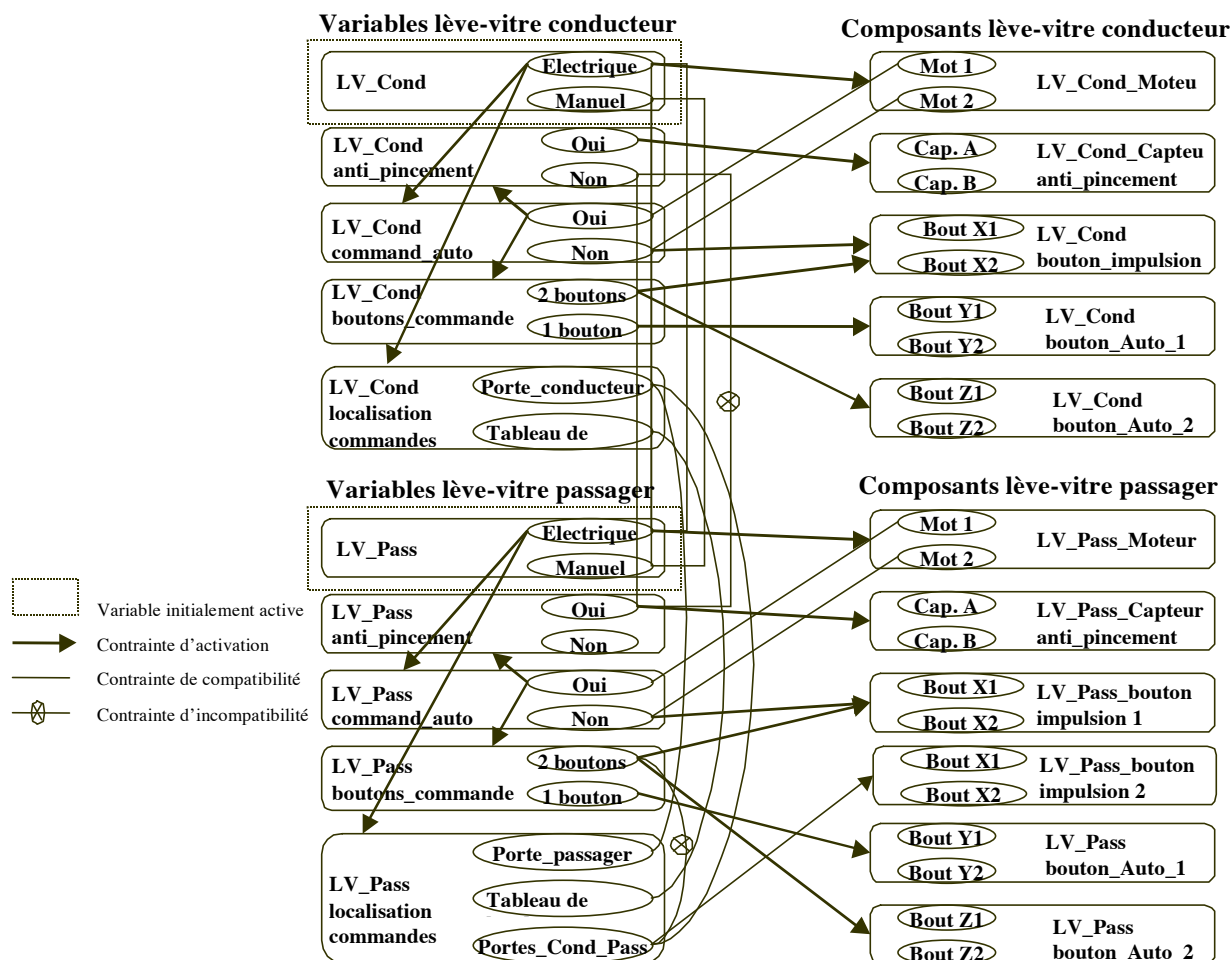


Figure 4. Modèle générique de configuration de la fonction lève-vitres avant

La configuration s'avère un outil rapide et puissant pour passer d'un besoin pouvant présenter une forte diversité à une nomenclature de composants prédéfinis avec la garantie d'un fonctionnement satisfaisant et cohérent (satisfaction des contraintes).

#### 4.2. Agencement et outil d'aide

Les outils d'aide à la conception de type modeleurs CAO sont par contre beaucoup plus orientés positionnement et agencement spatial des composants.

Dans la démarche de conception que nous avons proposée, la seconde étape traite du problème d'agencement des composants et de la prise en compte des contraintes géométriques. Elle consiste d'abord à identifier les localisations exactes des capteurs et actionneurs et à router ensuite les fils. Pour cette première phase, les modeleurs CAO peuvent



exploiter sans problème des bases de données contenant des bibliothèques de modules et de composants et peuvent également exploiter des modèles formels qui représentent toutes les possibilités de positionnement et d'agencement de composants. Ces modèles sont généralement fournis par le constructeur automobile sous forme de schémas papier ou de fichiers informatiques. Pour la définition des branches de fils, le concepteur exploite des matrices de routage qui définissent des espaces possibles de cheminement des composants fils sous différentes contraintes (longueur des fils, diamètre des torons). L'exemple d'une matrice de routage des fils de la fonction lève-vitres est donné dans la figure 5. La première ligne et la première colonne de la matrice de routage représentent les points de localisation des composants (points terminaux). D'autres points sont introduits dans la matrice pour définir les points de cheminement des fils. Un élément "X" de la matrice de routage, identifié par l'intersection d'une ligne et d'une colonne, indique un chemin direct entre les deux points d'intersection. La définition du schéma physique d'un pack de fonctions revient à trouver un chemin pour chaque segment de fil. Les longueurs des segments de fils peuvent être calculées après le routage. Dans [10], l'auteur propose une approche multicritère par analogie à l'ordonnancement pour le cheminement des fils d'un câblage d'hélicoptère.

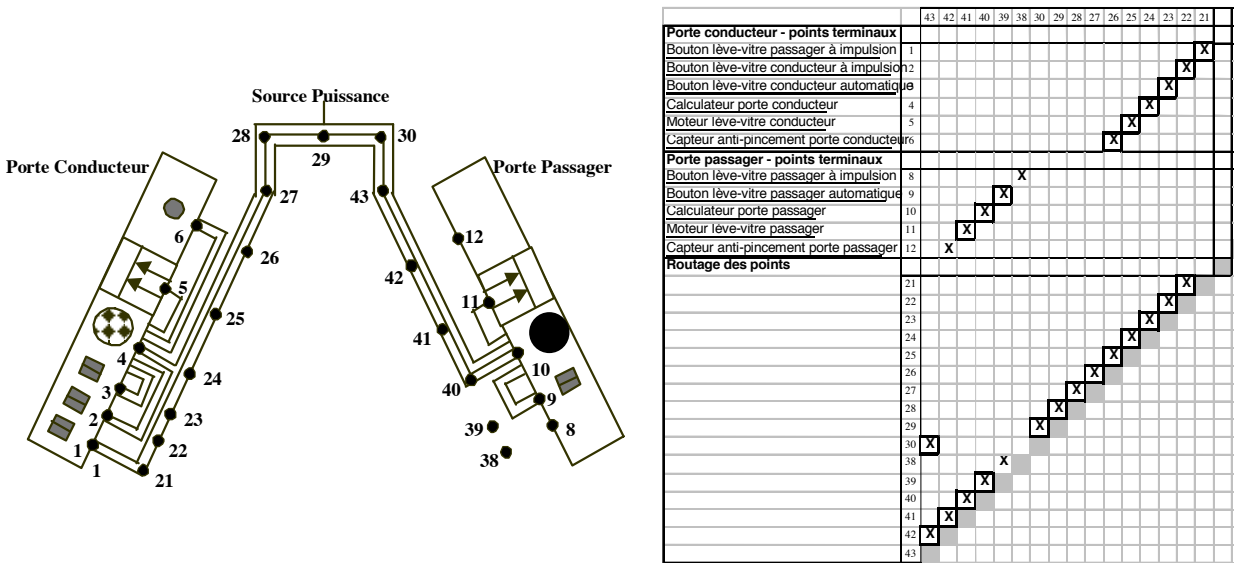


Figure 5. Matrice de routage

Les outils de CAO traditionnelle offrent également la possibilité de décomposer le pack en plusieurs sous-ensembles. Ils exploitent des connaissances déjà acquises sur des principes et des schémas de décomposition. Ils créent ainsi une diversité en références supportées par les processus de production et logistique. Cette diversité interne n'est pas vue par les clients utilisateurs et constructeurs.

## **5. CONCLUSION**

Dans ce papier, nous avons proposé une démarche d'aide à la conception du câblage électrique pour l'automobile. Ce produit est caractérisé par une diversité importante du besoin du client. L'analyse détaillée du câblage nous a permis de décomposer la démarche en deux étapes complémentaires : (1) identification et traitement de la diversité des besoins et (2) agencement et prise en compte des contraintes géométriques.

Les notions de diversité des besoins et de capitalisation de connaissances ne se gèrent pas facilement avec les outils de type modeleurs CAO, d'où notre proposition d'utiliser un configurateur pour assister la première étape et générer une nomenclature du produit. Les modeleurs CAO sont capables de traiter les problèmes d'agencement dans l'espace et de fournir des représentations géométriques du câblage. Nous avons montré comment ces deux outils peuvent se compléter pour assister la conception d'un pack de câblage. Nous travaillons actuellement sur un module d'évaluation du coût total d'une solution.

Un élargissement de cette étude à d'autres produits, caractérisés par une forte diversité du besoin et dont les aspects géométriques sont importants, reste une de nos perspectives. Des produits correspondant à cette cible peuvent être par exemple la menuiserie industrielle, les machines outils ou d'autres câblages électriques (aéronautique, pour le bâtiment).

## Références

- [1] Maurino M., *La gestion des données techniques, technologie du concurrent engineering*, Ed. Masson, Collection : Organisation Industrielle, 1994.
- [2] Tarondeau J. C., *Stratégie Industrielle*, Ed. Vuibert, Collection : Gestion, 2<sup>e</sup> édition 1998.
- [3] Price C., *AutoSteve, Automated Electrical Design Analysis*, European Conference on Artificial Intelligence ECAI, pp. 721-725, Berlin, Germany 2000.
- [4] Pahl G. and Beitz W., *Engineering Design: a Systematic Approach*, Ed. Springer-Verlag, 1996.
- [5] Mittal S. and Frayman F., *Towards a generic model of configuration tasks*, International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI, Vol. 2, pp. 1395-1401, 1989.
- [6] Freidrich G. and Stumptner M., *Consistency-Based Configuration*, AAAI Workshop on Configuration, pp. 35-40, Orlando, Florida 1999.
- [7] Aldanondo M., Moynard G. and Hadj Hamou K., *General configurator requirements and modeling elements*, ECAI Workshop on Configuration, pp. 1-6, Berlin, Germany 2000.
- [8] Soininen T., Tiihonen J., Mannisto T. and Sulonen R., *Modeling Configurable Product Families*, 4<sup>e</sup> WDK Workshop on Product Structuring, Delft University of Technology, The Netherlands, October 22-23, 1998.
- [9] Vargas C., *Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques. Application à la conception d'une culasse automobile*, Thèse de Doctorat en Mécanique, ENS Cachan, 1995.
- [10] Cerezuela C., *Contribution à l'élaboration de méthodes et d'outils d'aide à la conception et à la fabrication dans une perspective d'ingénierie concourante. Le cas du câblage électrique*, Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III, 1996.
- [11] Hadj Hamou K., Caillaud E., Lamothe J. and Aldanondo M., *Knowledge for product configuration*, International Conference on Engineering Design ICED, Glasgow, 2001.
- [12] Aldanondo M., Lamothe J. and Hadj Hamou K., *Configurator and CAD modeler: gathering the best of two worlds*, IJCAI Workshop on Configuration, Seattle, USA, 2001.
- [13] Harani Y., *Une approche multi-modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception*, Thèse de doctorat, INP de Grenoble, 1997.
- [14] Brown D. C., *Defining Configuring*, AIEDAM, Special Issue: Configuration Design, Volume 12(4), pp. 301-306, 1998.
- [15] Hadj Hamou K., Aldanondo M., Lamothe J. and Caillaud E., *Aide à la conception de produits : approche assistée par la configuration*, 4<sup>e</sup> Congrès International de Génie Industriel, pp. 129-138. Aix-Marseille, Juin 2001.
- [16] Aldanondo M., Rougé S. and Véron M., *Expert Configurator for Concurrent Engineering: Cameleon Software and model*, Journal of Intelligent Manufacturing, vol 11(2), pp 127-134, 2000.
- [17] Mittal S. and Falkenhainer B., *Dynamic Constraint Satisfaction Problems*. Proceedings of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence AAAI, pp. 25-32, 1990.