

GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE GAMMES D'ASSEMBLAGE

par Joël FAVREL

*Directeur du GRECO,
Professeur à L'INSA (Département informatique)*

et

Jean-Pierre CAMPAGNE

*Membre du GRECO, Maître-Assistant,
enseignant à L'INSA (Département informatique)*

Elaboration automatique de gammes d'assemblage

L'objet de cet article est de présenter une méthode d'élaboration automatique de gammes conçue pour une unité de montage de cablages électriques dans une P.M.E. Cette méthode repose sur la définition d'une structure de données permettant de décrire le processus de réalisation de ces produits. Elle permet, pour un groupe de produits donnés, d'élaborer automatiquement la gamme de fabrication d'un produit de ce groupe, à partir de la définition de ses composants et d'un ensemble de contraintes externes d'assemblage. Le processus de fabrication est décomposé en phases, chaque phase est décomposée en opérations réalisées sur des postes de charges définis, chaque opération est décomposée en suite d'opérations élémentaires nécessitant ou non un outil, correspondant ou non à l'insertion d'un composant donné.

Après avoir décrit le type de produits à réaliser, le processus de réalisation ainsi que les spécificités de cette production, nous décrirons le système élaboré et étudierons les possibilités de généralisation d'une telle démarche.

I. INTRODUCTION

Le problème qui nous était posé concernait une entreprise fabriquant de multiples variantes de cablages électriques dont le processus de fabrication peut être décrit comme suit :

- tout câblage est composé d'un ou de plusieurs brins ayant tous la même structure : un câble de longueur variable et comportant à chacune de ses extrémités une cosse et une pièce moulée. Sur ces brins peut être posée une gaine.
- ces brins peuvent être reliés entre eux par des pièces de type anneau, être regroupés ou ficelés, puis emballés séparément ou en vrac dans des blisters, des boîtes, cartons ou palettes.

Ces produits diffèrent :

- par la nature et la longueur du câble
- par les types de cosses et pièces moulées fixées à ses extrémités
- par les éléments posés sur brins
- par les assemblages portant sur plusieurs brins
- par les types de conditionnement.

L'ensemble de ces variantes peut être déterminé par :

- la définition de la nomenclature
- l'introduction de conditions externes telles que ficelage des brins par 100, marquage du câble, pliage d'une cosse...

Le processus de fabrication comporte deux phases :

- une phase de réalisation des brins. Au terme de cette phase le brin peut être partiellement ou totalement réalisé.
- une phase de montage. Cette phase se décompose en trois sous-phases :
 - . terminaison des brins lorsque ceux-ci ne sont que partiellement élaborés lors de la phase précédente.
 - . montage des éléments inter-brins
 - . conditionnement

Selon les variantes, ce processus varie :

- en fonction des contraintes spécifiques au niveau de chaque brin particulier : la pose automatique d'un élément au niveau de la phase de réalisation des brins impose l'existence d'un outil de pose automatique, outil qui n'existe pas pour tous les composants ; certains éléments posés sur brins interdisent la pose antérieure des extrémités.
- en fonction des contraintes spécifiques au montage du cablage. Des éléments qui pourraient être posés lors de la première phase doivent être posés lors de la phase de montage après insertion d'autres éléments d'assemblage inter-brins.
- en fonction des composants. La sélection des outils et des postes de charges conduisent à des circuits différents en fonction des éléments à insérer.
- en fonction du conditionnement.

II. SPECIFICITES DE CETTE PRODUCTION

II.1 Nomenclature étude et Nomenclature de production

Une première spécificité réside dans la distinction existant entre la nomenclature étude et la nomenclature de production.

Pour le bureau d'étude, chaque brin est un sous-ensemble parfaitement identifié, le cablage final étant obtenu par assemblage de ces brins et éventuelle insertion d'éléments de montage avant conditionnement.

Pour la fabrication, le sous-ensemble brin peut correspondre à un brin partiellement élaboré, soit pour des raisons spécifiques à ce dernier, soit pour des contraintes d'assemblage. Dans ce cas, les opérations de finition d'un brin sont insérées dans la phase de montage du cablage électrique complet.

Il s'agira donc de déduire d'une nomenclature étude des gammes et nomenclatures par phase de production.

II.2 Dépendances inter-opérations

Il existe trois types de dépendances :

- des exclusions : une opération de montage faite sur un cablage électrique peut interdire l'insertion au préalable d'un ou de plusieurs éléments sur un brin.
- des inductions : des opérations de pose automatique peuvent induire des opérations de reprises.
- des conditions d'antériorité : une opération élémentaire ne peut être réalisée qu'après la réalisation antérieure d'autres opérations élémentaires.

II.3 Décomposition du processus de fabrication en plusieurs phases

Le processus de fabrication est décomposé en phases. Chaque phase est réalisée par une unité de production spécifique. Tout sous-produit élaboré au niveau d'une phase est codifié. Il s'agit d'un produit fini ou d'un sous-ensemble ayant une existence propre, gérable indépendamment, et possédant sa gamme et sa nomenclature.

A partir d'une nomenclature étude d'un produit complet, il s'agira en conséquence de déduire des gammes et nomenclatures associées à chaque sous-ensemble et à chaque phase de son processus de réalisation.

III. SYSTEME DEVELOPPE

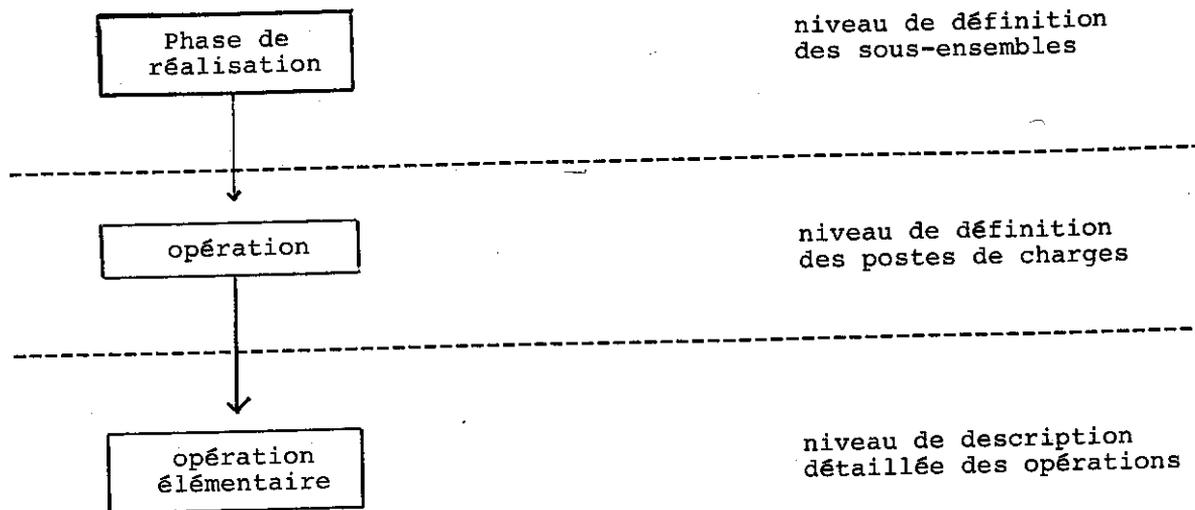
Le système développé repose sur les hypothèses de base suivantes :

III.1 Hypothèse 1

Il est possible de décrire d'une manière unique le processus de réalisation de l'ensemble des variantes d'un même groupe de produit. Ce processus est décrit à trois niveaux :

- la phase de réalisation : une phase de réalisation comprend une ou plusieurs opérations
- l'opération : suite d'opérations élémentaires réalisées continuellement sur un même poste de charge
- l'opération élémentaire. Il peut s'agir :
 - . soit d'une opération effectuée sur le sous-produit obtenu à ce stade sans intégration de composants
 - . soit d'une opération d'intégration de composant.

Ceci correspond à une description hiérarchique à trois niveaux de définition du processus de fabrication.



Si nous retenons le symbolisme suivant :

O	-	opération systématique
CE	-	condition externe
CSTE	-	composant exclusif
CSTI	-	composant à insérer
IT	-	interdiction
ID	-	induction

La condition de réalisation d'une opération peut être alors formalisée comme suit :

$$O + \bar{O}. (CE + ID + CSTI. (\bar{IT} + IT . \overline{CSTE}))$$

Le contrôle de la possibilité technique de réaliser une opération à un stade donné repose sur :

- la recherche de l'outillage nécessaire à chaque opération élémentaire et sur la recherche du poste de charge susceptible d'accepter tous les outillages associés aux opérations élémentaires constitutives de cette opération

- la recherche des opérations conditionnantes préalablement effectuées.

Pour cela nous associons :

- à chaque opération, un groupe de postes de charge sur lequel devra être réalisé cette opération

- à chaque groupe de postes de charge l'ensemble des postes de charge constituant ce groupe

- à chaque poste de charge l'ensemble des outils pouvant être montés sur ce poste de charge. Chaque outil :

- . peut être monté sur un ou plusieurs postes de charge. Ceux-ci peuvent appartenir à des groupes de poste différents.

. permet l'opération d'insertion d'un ou de plusieurs composants spécifiques
 . appartient à un type d'outillage spécifié

- à chaque opération élémentaire le type d'outillage nécessaire à la réalisation de cette opération. Certaines opérations élémentaires peuvent ne nécessiter aucun outillage spécifique.

Si une opération élémentaire ne nécessite pas d'outillage spécifique, ceci signifie qu'elle peut être réalisée sur n'importe quel poste de charge appartenant au groupe de poste associé à l'opération.

III.2 Hypothèse 2

- La détermination précise du processus de fabrication d'une variante peut être déduite automatiquement du processus de fabrication du groupe de produit à partir de la connaissance de la nomenclature étude de cette variante et des contraintes externes associées.

Cette détermination consiste en :

- la sélection des opérations élémentaires à effectuer
- la déduction des opérations à effectuer. Une opération est à effectuer si au moins une opération élémentaire associée à cette opération est à effectuer.
- la déduction des phases à effectuer. Une phase est à effectuer si au moins une opération associée à cette phase est à effectuer
- la détermination des postes de charges associés à chaque opération
- la détermination des outils associés à chaque opération élémentaire.

Pour déterminer le processus de fabrication d'une variante, on va considérer simultanément chaque phase, puis au sein de chaque phase chaque opération, puis au sein de chaque opération chaque opération élémentaire, du processus de réalisation du groupe de produit. On recherchera alors pour chaque opération élémentaire si celle-ci est à effectuer. Celle-ci peut être :

- à effectuer systématiquement
- conditionnée.

Une opération élémentaire peut être conditionnée par :

- l'existence d'un composant à insérer
- et/ou - l'existence d'une condition externe
- et/ou - une exclusive liée à un composant à insérer ultérieurement
- et/ou - la réalisation d'une opération élémentaire antérieure induisant cette opération élémentaire.

Une fois déterminé si une opération élémentaire est logiquement à effectuer à un stade donné, il s'agit de s'assurer qu'elle est techniquement réalisable à ce stade. Ceci est conditionné par :

- les outillages existants et les possibilités de montage des outillages sur des postes de charges
- les opérations préalablement effectuées.

Si une opération élémentaire nécessite un outillage spécifique :

- on recherche le type d'outillage nécessaire
- on recherche pour ce type d'outillage un outil susceptible à la fois :

. de monter la composant à insérer au stade de cette opération élémentaire
 . d'être monté sur un poste de charge appartenant au groupe de postes correspondant.

Si aucun outillage ne répond à ces contraintes, ceci signifie que l'opération élémentaire ne peut être effectuée à ce stade et qu'il lui sera substitué une autre opération élémentaire effectuée lors d'une opération suivante.

Lorsqu'une opération élémentaire est conditionnée par la réalisation antérieure d'une ou de plusieurs autres opérations élémentaires, on vérifie préalablement à la recherche de sa possibilité de réalisation que toutes les opérations conditionnantes ont été effectivement chargées. Dans le cas contraire l'opération est reportée.

Deux cas peuvent se produire :

- soit l'opération élémentaire n'est pas réalisable et dans ce cas elle est reportée
- soit l'opération élémentaire est réalisable sur un ou plusieurs postes de charges du groupe de postes considéré et dans ce cas on l'insère dans une table des opérations à effectuer :

OPERATION	PC1	PC2	PC3	PC4
OP. ELEM 1	OUI	OUI	OUI	OUI
OP. ELEM 2	OUI		OUI	
OP. ELEM 3	OUI			
OP. ELEM 4	OUI			

Cette table nous indique l'ensemble des postes de charges susceptibles d'accueillir des opérations élémentaires.

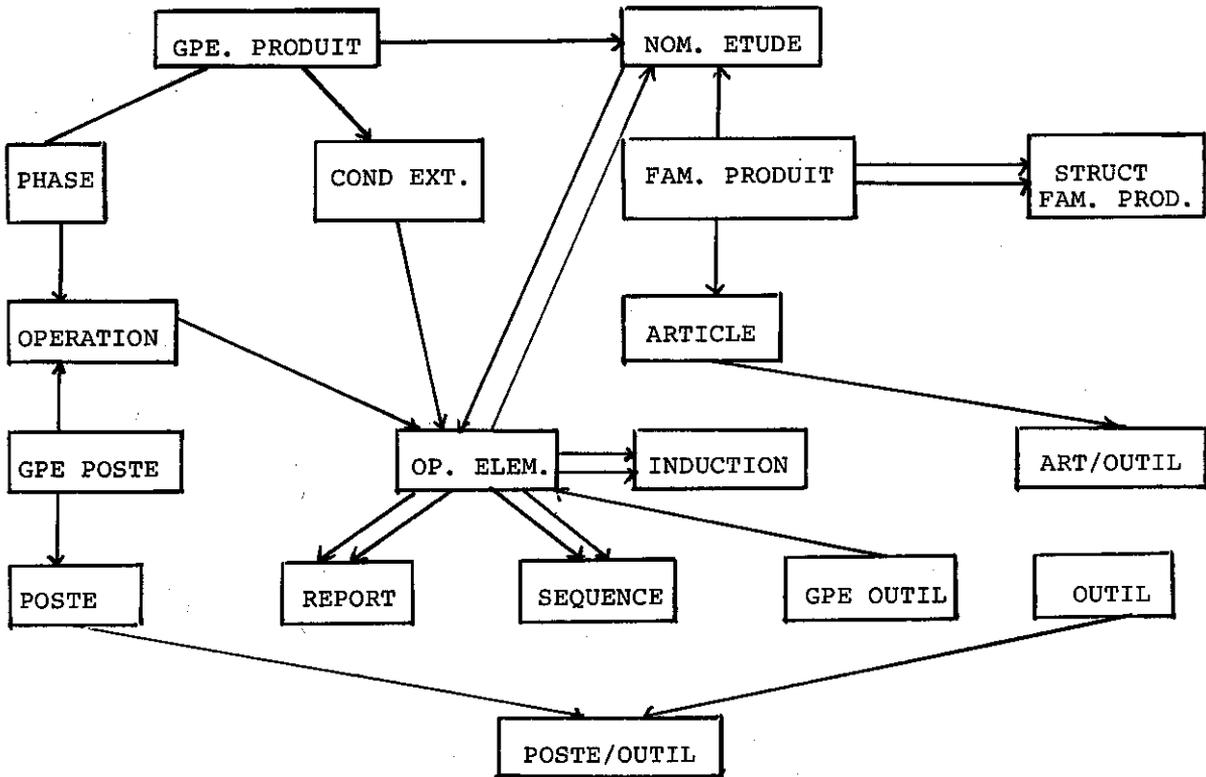
On ne teste à chaque étape que des postes susceptibles d'accueillir les opérations élémentaires précédentes.

Si une opération ne peut être accueillie sur les postes restant à un stade donné, elle est reportée.

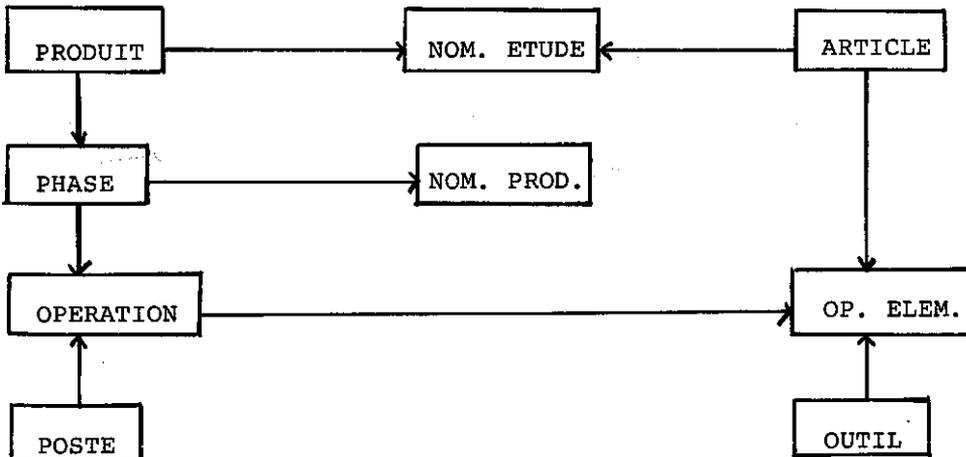
Pour que cette approche puisse être appliquée, il convient de s'assurer qu'il existe une opération substituable pour toute opération reportée.

IV. STRUCTURES DE DONNEES ASSOCIEES

Modèle logique des données : Base de données statique



Modèle logique de données : Base de données dynamique



V. CONCLUSION

Les principales caractéristiques de notre approche sont les suivantes :

a) le processus de fabrication est décrit de manière unique pour l'ensemble des variantes d'un même groupe de produits

b) les variantes dans le processus de fabrication proviennent :

- . soit de conditions externes explicites
- . soit de contraintes internes d'assemblage que l'on peut déduire :

+ de l'étude de la nomenclature

+ de l'étude des caractéristiques techniques décrites sous forme de possibilité de montage d'outil sur des postes de charge et de contraintes d'outillage.

Les variantes se traduisent sous forme d'opérations élémentaires non réalisées ou reportées.

Les limites sont les suivantes :

- Le procédé de fabrication est unique et entièrement déterminé par les contraintes internes et externes

- Le choix entre plusieurs postes de charge n'est pas traité.

Pour ce dernier point des développements peuvent être réalisés. Deux solutions sont possibles, définition des règles de priorité sur les postes de charge ou développement de dialogue avec l'utilisateur.

Cette approche semble particulièrement adaptée lorsque le processus de fabrication peut être aisément décrit.

Ceci suppose que les variantes dans les processus de fabrication sont peu nombreuses et entièrement déterminées par les caractéristiques techniques des produits et des moyens de fabrication.

Elle pourrait être généralisée pour introduire des possibilités de choix entre divers procédés conduisant :

- soit à des choix préalables en fonction de critères économiques

- soit à la définition de gammes variantes, le choix étant fait au stade de l'ordonnement en fonction de critères économiques et de contraintes de charges.

Lorsque les conditions d'application de notre approche ne sont pas remplies, on peut envisager des approches reposant sur une classification des produits plus fine en groupe de produits :

- à un groupe de produits serait associée une gamme de fabrication unique
- pour des opérations élémentaires déterminées à réaliser lors d'une phase déterminée, le problème serait réduit alors à une recherche des postes de charges et outillages.

Cette approche qui aurait pour avantage de simplifier fortement la structure de données et les algorithmes d'identification des procédés, implique en contrepartie le développement d'algorithmes de rattachement d'une nouvelle variante à un groupe de produits existant.

Approche variante par groupe de produitDémarche globale

- identification des groupes de produits et association à chaque groupe d'une séquence opératoire unique
- détermination du groupe d'appartenance d'un nouveau produit
- détermination du poste et des outils pour chaque opération de la séquence opératoire.

Domaines d'application

cheminement système de production	peu de cheminements différents	cheminements multiples
Système de production simple	Groupe de produit	Approche Globale Approche globale
Système de production complexe	Approche par groupes de produits	Groupe de produits Approche Globale

