

# OUTILS D'AIDE À LA CONCEPTION ET L'ANALYSE PARASISMIQUE DES BÂTIMENTS EN AVANT-PROJET SOMMAIRE

## I. Introduction

L'informatique sous sa forme classique a acquis des droits de cité dans la plupart des entreprises et actions de l'homme. Lorsqu'une tâche est répétitive suivant un algorithme bien défini elle peut être confiée à un ordinateur.

Cette notion d'algorithme qui sous-entend une organisation séquentielle est la base des programmes informatiques classique. Ce type de programme paraît incapable de traiter des problèmes où interviennent des cheminements de pensées variables [1].

L'objet de l'intelligence artificielle est de simuler le raisonnement humain dans ses composantes intuitives. Ainsi les recherches portent sur plusieurs plans dont les systèmes experts. Aussi on peut définir (d'une façon assez osée) le système expert comme étant un programme informatique capable de reproduire le raisonnement humain.

Il rassemble les connaissances des experts d'un domaine donné, qu'il doit manipuler d'une manière particulière afin de simuler le raisonnement humain et permettre ainsi la résolution de problèmes dans le domaine concerné. Son application dans le génie civil paraît adéquate et peut faciliter et aider dans les conceptions et contrôles d'ouvrages.

## 2. Problématique

L'établissement d'un projet parasismique implique la vérification de la capacité de l'ouvrage à absorber et dissiper l'énergie induite par les séismes sans grands dommages, pour cela il est important d'introduire la réflexion sur le comportement des ouvrages aux séismes dès le début de l'étude. En effet, les calculs seuls n'assurent en aucun cas une sécurité élevée de l'ouvrage.

Aussi il est nécessaire d'organiser le bâtiment et la structure de façon à obtenir la mobilisation maximale des ressources de la structure en résistance et en capacité de stockage et de dissipation d'énergie, et ce afin d'éviter les situations nécessitant de très grandes capacités aux systèmes parasismiques [2]. Pour cela il est judicieux de faire une conception adéquate dès

l'avant projet sommaire dans tous les compartiments de l'ouvrage, car chaque élément du bâtiment intervient dans le comportement lors du tremblement de terre.

Pour une bonne conception parasismique un outil d'aide à la conception et à l'analyse parasismique pouvant compléter et tenir compte des divers et nombreux facteurs liés à diverses disciplines (architecture, sols, fondation, structures...) qui influent sur le comportement des bâtiments lors d'éventuels séismes à un stade précoce de conception paraît adéquat.

Aussi la mise en place d'un tel système réalisé à partir de l'expérience, d'études et de règlements parasismiques pouvant faire une telle approche s'avère intéressante.

De ce fait, se posent les questions suivantes :

- Comment doit être le système?
- A quoi doit-il répondre exactement?
- Dans quelles mesures et sous quelle forme se développera cet outil?
- Sera-t-il un ensemble de modules algorithmiques reposant sur des méthodes simplifiées? ou sera-t-il un système type expert capable de prendre en compte l'expertise des praticiens? ou sera-t-il un combinaison de deux approches?
- Ce système fera-t-il l'analyse générale de n'importe quel type de bâtiment et structure, ou sera-t-il adapté à des catégories de bâtiments et de structures qu'il sera nécessaire de définir?

## 3. Les systèmes experts

### 3.1 Comment fonctionnent

#### les systèmes experts

Raisonnements faits, règles et structures de contrôle :

- Les systèmes experts utilisent en général les règles de production pour formaliser les raisonnements [3]. Une telle règle se met sous la forme : « Si situation Alors action ».

Elle est formée d'une prémisse et d'une conclusion. Si la prémisse est vraie alors la conclusion est vraie, c'est une règle de type déductif, une telle règle s'appelle une inférence.

Aussi pour régler un problème donné, le sys-

M. BELACHIA  
Institut de Génie Civil de  
C.U GUELMA  
A. CHAIR  
GAHMUSSE  
R. LASOUED M  
Institut de Génie Civil de  
l'U. CONSTANTINE

## RÉSUMÉ

Des problèmes de conception parasismique apparaissent souvent après finalisation de l'architecture des bâtiments, ce qui nécessite soit un retour d'étude, ou des systèmes de structure très onéreuse.

Aussi pour une bonne conception parasismique un outil d'aide à la conception et à l'analyse parasismique pouvant compléter et tenir compte des divers et nombreux facteurs liés à diverses disciplines (architecture, sols, fondations, structures...) qui influent sur le comportement des bâtiments lors d'éventuels séismes à un stade précoce de conception paraît adéquat.

Ce système expert devra intervenir en avant projet sommaire de conception aidant le concepteur dans ses différents choix de forme de structure et de composants.

## MOTS CLÉS

C.A.O • système expert • intelligence artificielle • conception parasismique.

tème expert est appelé à utiliser un ensemble de règles qui sont enchaînées par les conclusions et les prémisses. (La conclusion d'une règle peut être la prémisse d'une autre) pour pouvoir ainsi faire le raisonnement qui donnera la conclusion finale.

Toutes ces connaissances sont organisées dans deux bases :

- La base de fait : Regroupe l'ensemble des connaissances élémentaires disponibles avant le raisonnement, en définissant le fait comme étant chaque élément de connaissance disponible avant le raisonnement.

- La base de règle : Regroupe l'ensemble des règles de production ; les inférences portent donc sur des faits. Quand les faits qui sont dans la prémisse sont vrais alors les faits qui sont dans la conclusion deviennent vrais. Ces nouveaux faits vont enrichir la base de faits pour permettre la poursuite des raisonnement.

STRUCTURE DE CONTRÔLE :

Le système expert contient de très nombreuses règles. Etant donné un état de la base de fait, il peut arriver que plusieurs règles soient simultanément applicables, il faut donc choisir.

Ce choix comme la reconnaissance des règles applicables est réalisé par un module particulier du système expert. Ce module reconnaît aussi quand il faut arrêter le processus. On définit pour cela les conditions d'arrêt.

Cette partie du système est la structure de contrôle. Elle indique comment et dans quel ordre les règles applicables doivent s'appliquer. Elle teste aussi si la condition d'arrêt est satisfaite.

### 3.2 : Représentation des connaissances :

Pour rendre opérationnel un système de production comme le précédent, il faut savoir ce que l'on doit mettre dans chacun des trois modules base de faits, base de règles et structure de contrôle. C'est la représentation des connaissances. Il y a :

- Les connaissances qui sont dans la base de faits et qui sont appelées connaissances ascendantes. Ce sont des données brutes (en général ce sont des connaissances descriptives)

- Les connaissances qui sont dans la base de règle et qui sont des connaissances opératoires. Elle indiquent la manière d'utiliser les faits.

Les règles simulent une façon d'agir ou un raisonnement. L'ensemble des règles et des faits constitue une base de connaissance

- Les connaissances du système de contrôle qui traduisent la façon de résoudre le problème et dans quel ordre appliquer les règles. Ces connaissances sont appelées les stratégies de contrôle.

La distinction des connaissances de la base de faits et ceux de la base des règles dépend souvent de la façon dont la situation concrète est modélisée et du problème à résoudre.

### 3.3 Stratégie de raisonnement

On distingue deux stratégies principales [4][5] :

- Chainage Avant : Mode de raisonnement guidé par les faits dans l'arborescence, le déclencheur d'une règle lors d'un chaînage avant est constitué de prémisses. Si les prémisses sont vraies alors les conclusions de la règles sont tirées. Il faut donc que les faits soient connus avant la conclusion.

- Chainage Arrière : Mode de raisonnement guidé par les buts. Le déclencheur d'une règle est constitué des conclusions. A partir du but final recherché par l'utilisateur, le système remonte des conclusions aux prémisses des règles en générant des sous-but jusqu'à ce qu'un fait soit connu. Une partie des faits est inconnue avant la consultation.

- Chainage Mixte : Est une combinaison des deux stratégies principales.

### 3.4 Outil de développement des systèmes experts

Un système expert se compose la plus part du temps, de deux parties distinctes, une base de connaissances contenant l'expertise [6], [7], [8], et un moteur d'inférence capable d'effectuer des déductions, les connaissances avant être «écrites» dans un langage lisible par ce moteur.

Pour le développement des premiers systèmes experts représentation des connaissances et moteur d'inférence étaient créés spécialement pour

chaque problème à traiter. Le travail réalisé est alors inutilisable pour le développement d'un autre système. Ce type de système expert est appelé Système Expert dédié.

La nécessité de pouvoir développer des systèmes experts rapidement quelque soit le domaine d'application a conduit à la création de logiciels généraux pouvant ainsi permettre la création de plusieurs systèmes experts dans différents domaines. Ces logiciels généraux, ou générateurs de systèmes experts proposent en général:

- Plusieurs principes de représentation des connaissances
- Plusieurs modes de raisonnement
- Des possibilités d'interfaçage avec outils d'informatique classique (S.G.B.D, tableurs, langage de programmation etc.).

Dans notre projet nous ne développerons pas un système expert dédié mais nous utiliserons un générateur de système expert.

## 4. Réflexion sur le Système

### 4.1 Objectif du système

Le système est dénommé Sismic. Il se veut une maquette de système expert dont l'objectif est l'aide et l'analyse des conceptions parasismiques des bâtiments. Il intervient dès le début de l'étude, par l'étude et l'analyse des nombreux facteurs influents sur le comportement des bâtiments sous séisme.

Sismic peut être activé à différents niveaux de conception et pour différentes situations, pour cela le système comprend essentiellement 4 modules pouvant être activés ensemble ou indépendamment les uns des autres selon la situation.

**Module 1 :** Stade architecture précoce ce module intervient au niveau filaire de l'étude, il permet de faire certaines analyses des formes des bâtiments, l'analyse et proposition de différents types de structures parasismiques, de composants et de fondations.

**Module 2 :** Pouvant intervenir juste après le module précédent, ou être activé à part, il permet de réaliser :

- Un prédimensionnement des éléments de structure

- L'analyse géométrique générale de la structure (disposition du centre de masse, du centre de torsion, analyse des rigidités en plan et en élévation). Ce qui nécessite une saisie géométrique des données.

**Module 3 :** Stade A. P. D ce module pouvant être activé après le choix du type de structure et de composants. Il procède :

- Aux choix des modélisations pour la détermination des forces sismiques.
- À la détermination des forces sismiques.
- Aux calculs et vérifications de stabilité des structures et des fondations

**Module 4 :** Ce module fait l'analyse des détails au niveau :

- Architecture
- Structure et fondation
- Réalisation

Des analyses pathologiques des bâtiments ayant subi des séismes, il a été conclu que la mauvaise conception ou la mauvaise réalisation des détails est bien une cause majeure des catastrophes [9], [10].

Les différents scénarios d'utilisation du système sont liés aux différents stades d'avancements du projet d'un bâtiment au niveau desquels on peut faire appel au système, et ce par l'activation d'un ou de plusieurs modules du système et ce selon le stade d'avancement du projet ; de ce fait différents types d'utilisateurs sont possibles selon le besoin.

### 4.2 Organisation, Forme et

#### Fonctionnement du système :

##### 4.2.1 Description du module 1

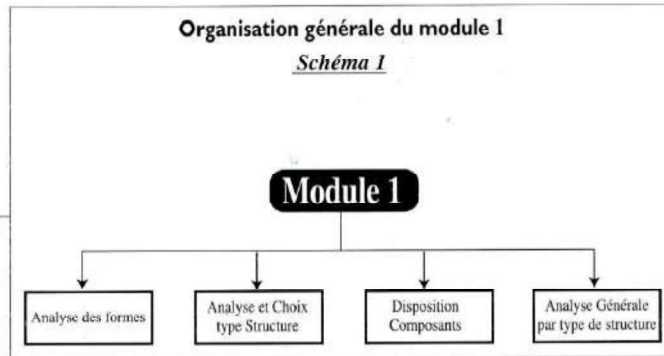
Le module 1 intervient au stade précoce de l'étude parasismique. C'est un module d'aide à la conception et l'analyse générale des différents compartiments des bâtiments qui interviennent particulièrement dans le comportement des ouvrages lors de tremblement de terre [9], [11], [12].

Le module 1 se décompose en 4 sous-modules :

- Analyse des formes
- Analyse et propositions de types de structures parasismiques
- Dispositions et choix des composants

Organisation générale du module 1

Schéma 1



• **Sous-module 1 :**  
Analyse des formes: C'est un ensemble de paquets de règles, paquet de règle 1, il est activé uniquement par le questionnaire de départ.

• **Sous-module 2 :**  
Définition types de structure: C'est un ensemble de paquets de règles 2, activé par le questionnaire de départ seul.

• **Sous-module 3 :**  
Disposition et choix des composants : ensemble de paquets de règles 3 activé par le questionnaire de départ et le questionnaire complémentaire 1

• **Sous-module 4 :** Analyse générale des bâtiment : ensemble de paquets de règles 4 activé par le questionnaire de départ et le questionnaire complémentaire 2.

• Analyse générale des bâtiments par type selon le type de structure

4. 2. 2 Fonctionnement du module 1

A partir d'un questionnaire de départ, le système procédera par le biais de 4 ensembles de paquets de règles à l'activation d'un des 4 sous-module ci-dessous :

Analyse des formes :

A partir des données de départ le système déclenchera en premier lieu l'analyse de forme par le biais de règle de productions (ensemble de paquets de règles 1). (vu la difficulté de cerner la notion de forme des données géométrique ainsi que des données de formes intuitives seront demandées, dans ce cas on utilise la logique des prédicats).

Après cela le système affichera les résultats saisissables par le biais de fiches et cela sous formes de remarques et conseils quant aux formes du bâtiment pour l'utilisateur qui aura à décider à la lumière de ces résultats de modifier

ou non la conception de la forme si nécessaire.

Si l'utilisateur procède à des modifications le système reprendra les données de départ tenant compte des modifications apportées et reprendra ainsi de nouveau l'analyse des formes.

Si l'utilisateur ne procède pas à des modifications le système entamera l'étape suivante de son raisonnement, à savoir le choix de type structure ou l'activation de l'un des autres sous-modules selon le choix de l'utilisateur.

Analyse et choix de partis structure :

Par le biais d'un ensemble de tableaux et de règles de production et à partir du questionnaire de départ, le système procédera à l'analyse du bâtiment pour la définition d'un ensemble de type de structures possibles qui seront affichés à l'utilisateur comme propositions. Ces données sont bien entendus saisissables par le biais de fiches.

Dispositions et composants :

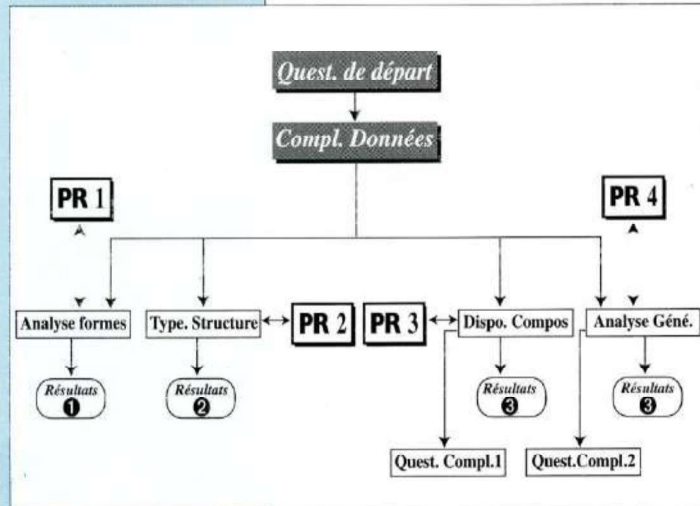
Pour activer ce module le système demandera des données complémentaires relatives au type de structure retenu. C'est le questionnaire 1. Il permettra de préciser des dispositions générales et de faire l'analyse et le choix de certains composants par le biais du paquet de règles.

Analyse générale du bâtiment :

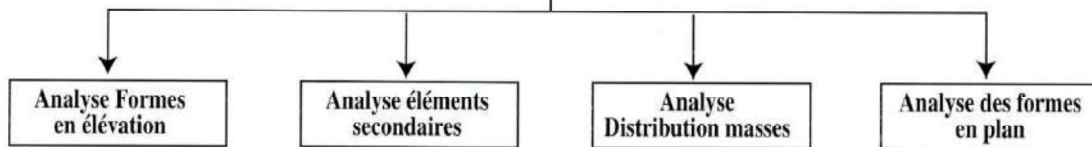
Pour activer ce sous-module le système demandera les données complémentaires 2 (questionnaire complémentaire 2) qui déclenchera l'analyse générale organisée par type de bâtiment selon le type de structure retenu et cela selon un schéma défini. Cette analyse est réalisée par l'ensemble de paquets de règles 4, et ce dans chaque type de bâtiment selon des postes bien déterminés.

Suite à cela, le système affichera les résultats sous forme de remarques, conseils et fiches descriptives sur les différents postes en question.

Sur la base de ces résultats, l'utilisateur aura à prendre la décision de procéder ou non à des



# Analyse des Formes



modifications. S'il y a modifications, le système demandera s'il n'y a des modifications de forme, dans le cas ou modifications de forme il y a, le système reprendra le questionnaire complémentaire. S'il n'y a pas de modifications du tout, alors fin du module 1.

## 4.3 Formalisation des connaissances selon l'architecture du système

### 4.3.1 organisation générale des règles du module 1

Le module 1 se décompose en 4 types d'actions activées par 4 ensembles de paquets de règles qui sont eux même organisées en sous paquets de règles relatifs à des postes déterminés :

- Analyse des formes paquets de règles 1 : PR 1
- Types de structure paquets de règles 2 : PR 2
- Dispositions et composants paquets de règles 3 : PR 3
- Analyse générale. paquets de règles 4 : PR 4

### 4.3.2 Structuration des règles : analyse des formes

A partir du questionnaire de départ le système procède à l'analyse des formes du bâtiment par le biais du paquet de règles 1, (PR 1), organisés en 4 sous paquets de règles et ce selon 4 postes d'analyse.

- Poste 1 Analyse des forme en plan: S/PR 1
- Poste 2 Analyse des formes en élévation : S/PR 2
- Poste 3 Distribution des masse : S/PR 3
- Poste 4 Analyse de détails : S/PR 4

### 4.3.3 Structuration des règles : Analyse et choix type de structures

Toujours à partir du questionnaire de départ et des complétions de données et par le biais des règles de production 2, qui sont un ensemble de tableaux à double entrée et un ensemble de règles que le système proposera à l'utilisateur un ou plusieurs type de structure déterminées par le système.

Les réponses sont données sous forme de fiches en utilisant un fichier texte.

### 4.3.4 Structuration des règles :

#### Disposition et composants

Pour déclencher ce sous-module on active le questionnaire 1 relatif aux différents type de structures et à certains composants.

Par le biais des données complémentaires 1, des données de départs et des complétions de données le système exploitera le paquet de règle 3 afin de procéder à l'analyse des disposition générales de structure et à l'analyse et choix de certains composants.

Les réponses sont données aussi sous forme de fichiers textes.

### 4.3.5 Structuration des règles :

#### Analyse Générale

La conception et l'analyse générale est organisée pour 3 type de bâtiments correspondant à 3 postes et ce selon le type de structure parasismique :

- Portiques en béton armé
- Murs ou voiles en béton armé
- Murs porteurs en maçonnerie chaînée.

Cette analyse est réalisée par 3 sous-ensembles de paquets de règles qui forment l'ensemble de paquet de règles 4

- Poste 1 Bâtiment à structures PS portique B. A ..... S/ PR 1
- Poste 2 Bâtiment à structures PS voiles B. A ..... S/ PR 2
- Poste 3 Bâtiment à structures PS maçonnerie chaînée ..... S/PR 3

L'analyse générale est déclenchée après les données complémentaires 2 (voir schéma organisation du module 1) relatif à l'un des 3 types de bâtiment selon l'un des 3 postes. Il exploitera aussi les données de départ ainsi que les complétions de données.

#### Bâtiment portique B.A :

Ce poste est organisé en 4 sous postes et analysé par 4 sous paquets de règles. Chaque sous paquet est associé à un sous poste :

- S/ poste 1 : Eléments de structure
- S/ poste 2 : Remplissages
- S/ poste 3 : Eléments secondaires et détails
- S/ poste 4 : Fondations.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] – J. P. LAURENT et al – Schéma pour la description et l'évaluation de système expert et d'outils de développement de systèmes experts – PRC IA, pôle Méthologique des Applications Laboratoire d'Intelligence Artificielle, Université de Savoie, 1988, 59 p.
- [2] – V. DAVIDOVICI : Génie parasismique (presse de l'école nationale des ponts et chaussées)
- [3] – P. LAURENT Systèmes Experts et Langages Orientés Objets: un Mariage Fructueux Micro-système, juillet – Août 1987, p. 145• 150
- [4] – G. BENCHIMOL , P. LEVINE , J.C. POMEROL – Systèmes Experts, Principes et Exemples Toulouse Cepandues, 1986, 254p
- [5] – j. L. ALTY , Systèmes Experts, Concept et Exemples – Paris : Masson, 1986, 173 p
- [6] – A. CAPRA et V. DAVIDOVICI : Calcul dynamique des structures en zone sismique ( Collec. Eyrolles 1984)
- [7] – W. CLOUG J. PENZEIN : Dynamique des structures (Edition Pluralis 1980)
- ...

## Analyse Générale

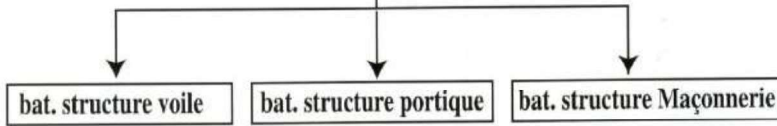
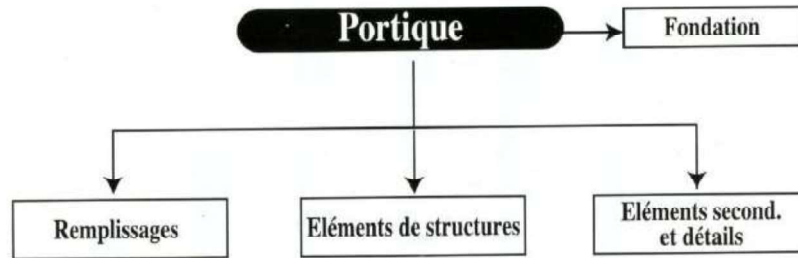


Schéma d'Organisation Module Analyse Générale

...  
 [8] – D.T.U : Règles Parasismiques 1969 et additifs 1982  
 [9] – National Research Council Committee on National Disasters. Rapport sur séisme d'El Asnam Octobre 1980  
 [10] – P. BISH, P. BULLAND, F. GANTEBEIN et P. LABBÉ  
 Comportement sismique des bâtiments et équipements (I. P. S. I Paris 1988)  
 [11] – N. KHOURY : Eléments finis et sous structures application à l'étude des contreventements (Thèse de doctorat INSA de Lyon 1989)  
 [12] – O. C. ZENCKE-WICZ : The elements method in engineering science (Mc Graw Hill London 1971)  
 [13] – GURU Manuels de Référence 1 et 2, Manuel d'Utilisation, GURU version 1.1 – ISE GEGOS, Paris 1987  
 [14] – JEAN - CHARLES POMEROL : Les Systèmes Experts. Technologie de Pointe ISBN 2• 96601• 153• 8.



## 5 Organisation des connaissances

Les premières questions auxquelles on doit répondre c'est de définir quelles sont les connaissances à mettre dans la base de fait, les connaissances à mettre dans la base de règle et quelles sont les connaissances à obtenir comme résultats, et sous quelles formes, et cela en conformité avec l'architecture du système et plus précisément pour le module 1.

### 5.1 Questionnaire de départ

- Quelles sont les connaissances de complétions de données, leurs variables correspondantes.
- Quelles sont les connaissances de complétions de données, leurs variables

### Complétion de données :

Dans lesquelles on définit les variables, et les règles correspondantes. Les règles de complétion de données sont aussi organisées plutôt en largeur qu'en profondeur.

### 5.2 Fichier résultat

Les fichiers résultats sont obtenus par l'utilisation de fichiers textes nécessaires pour le fonctionnement du système.

En utilisant Guru comme G. S. E il est nécessaire d'écrire des programmes extérieurs au système dans lesquels seront réalisées les boucles

d'itération des variables indicées à double indice variable, des procédures de calcul ainsi que le programmes d'impression. Tout ces programmes seront lancés par des réflexes et ce à l'intérieur du système expert [13], [14].

Exemple de fiches de sortie : Analyse des formes et choix type de structure

BÂTIMENT	{..... }
Analyse de formes :	
Formes en plan :	
Type forme en plan :	{..... }
• A joints sismiques :	{..... }
• But :	{..... }
• Causes :	{..... }
• Epjt :	{..... }
• B Saillies - retraits :	{..... }
• But :	{..... }
• Causes :	{..... }
• C Forme gén élevat.:	{..... }
• But :	{..... }
• Causes :	{..... }
• D Modan dynamique :	{..... }
• But :	{..... }
• Causes :	{..... }
• Dispo. particul. :	{..... }