



**HAL**  
open science

## **L.E.D.: Un tableur pour la modélisation des procédés industriels**

Gérard Bloch, Didier Maquin, José Ragot

► **To cite this version:**

Gérard Bloch, Didier Maquin, José Ragot. L.E.D.: Un tableur pour la modélisation des procédés industriels. IASTED International Symposium, Modelling, Identification, and Control, Feb 1987, Grindelwald, Suisse. hal-00963945

**HAL Id: hal-00963945**

**<https://hal.science/hal-00963945>**

Submitted on 23 Mar 2014

**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.

# L.E.D. : Un tableur pour la modélisation des procédés industriels

G. BLOCH, D. MAQUIN, J. RAGOT

LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE ET DE RECHERCHE APPLIQUEE

CENTRE DE RECHERCHE EN AUTOMATIQUE DE NANCY

CENTRE DE RECHERCHE SUR LA VALORISATION DES MINERAIS

RUE DU DOYEN MARCEL ROUBAULT 54500 VANDŒUVRE - FRANCE

Tél. : 83.51.43.71.

## Résumé :

La caractérisation d'un procédé industriel complexe vise à établir les lois qui dérivent son fonctionnement : les modèles.

La recherche et la validation des structures des modèles est une démarche heuristique, procédant essentiellement par essais et erreurs. Elle doit intégrer des informations de type varié : connaissances empiriques et scientifiques, mesures.

Le Logiciel d'Exploitation de Données (L.E.D.) est un outil interactif de traitements de grands tableaux de mesures, pour l'établissement des modèles. Son organisation générale et ses fonctionnalités sont présentées et les auteurs montrent son aptitude à la modélisation des procédés industriels.

Mots clés : procédés industriels complexes, modélisation, analyse de données, logiciel, interpréteur

## INTRODUCTION

Un procédé complexe se définit comme un système constitué d'un nombre élevé d'éléments, de variables descriptives qui interagissent de façon croisée et non simple.

La caractérisation d'un tel système vise précisément à établir les lois qui décrivent son fonctionnement, les relations qui lient ses variables caractéristiques, les modèles. Ces modèles doivent être ensuite validés, par le test de leur pouvoir de prédiction.

Dans le cas de procédés industriels, l'amélioration de leur connaissance constitue le plus souvent la première étape d'une étude dont les objectifs peuvent être :

- l'amélioration du diagnostic de fonctionnement et de la maintenance,
- la formation du personnel d'exploitation,
- la maximisation de la production,
- la minimisation des consommations auxiliaires ou des pertes,
- la construction d'observateurs de variables non ou difficilement mesurables pour des raisons technologiques ou financières,
- l'obtention de certaines caractéristiques sur les variables de sortie (indépendance par rapport aux perturbations, rapidité de la réponse aux commandes, maintien dans une plage de variation limitée, ...),
- l'automatisation de la commande.

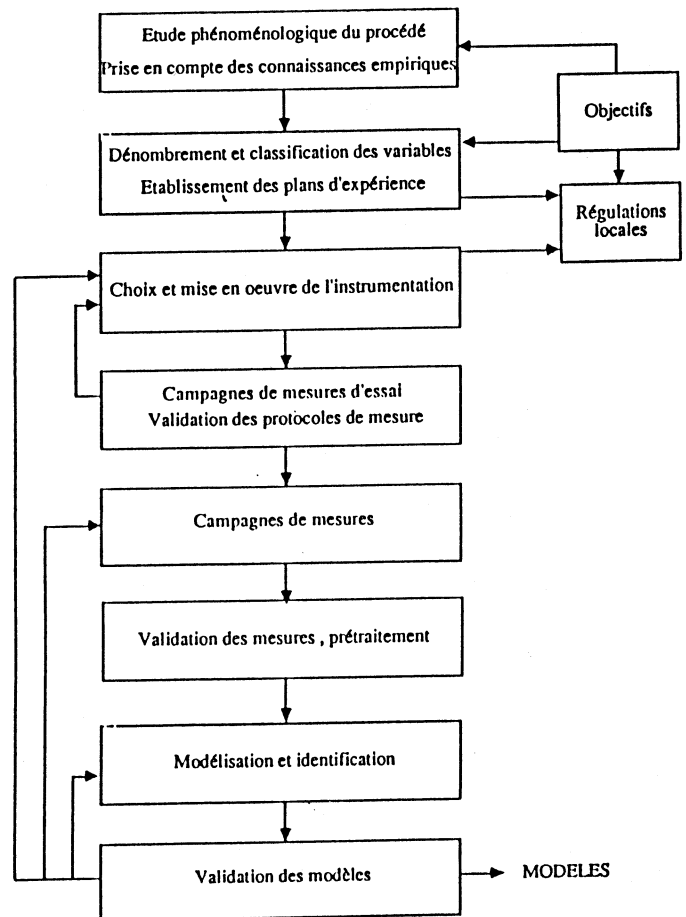


Figure 1 : La démarche de la modélisation

## 1 METHODOLOGIE DE LA MODELISATION

La figure 1 présente l'ensemble de la démarche de modélisation. Elle constitue un canevas général, dont chaque étape est susceptible de varier assez nettement d'une étude à l'autre.

Nous pouvons y noter l'existence de bouclages dûs à la remise en cause des résultats des phases précédentes. Nous remarquerons également la diversité des sources d'informations :

- les connaissances empiriques des exploitants du procédé : première liste de variables descriptives, points de fonctionnement nominaux et domaines de variation des différentes grandeurs, sens des liaisons déjà existantes, commandes manuelles, défauts de fonctionnement, caractéristiques technologiques des matériels, capteurs et actionneurs....,

- les conclusions d'une étude phénoménologique du dispositif ou l'application des lois physico-chimiques au domaine considéré. Une telle étude fournit des modèles dits "de connaissance", fort utiles pour préparer la forme des relations finalement retenues. Cependant, la littérature spécialisée présente souvent des modèles partiels, et cependant trop complexes pour être intégrés dans un modèle de conduite global, à domaine de validité limité ou différent, issus de conditions non industrielles et qui ne prennent donc pas en compte les perturbations et l'aspect aléatoire des variables,

- les mesures effectuées sur l'installation en fonctionnement. Le soin apporté à leur collecte conditionne les résultats ultérieurs. Deux problèmes peuvent ici être cités : la qualité des chaînes d'instrumentation et l'établissement des plans d'expérience. Ceux-ci sont issus d'un difficile compromis. Tout d'abord, les mesures doivent explorer complètement et finement le domaine de fonctionnement du procédé, pour l'ensemble des variables caractéristiques, avec une période d'échantillonnage suffisamment faible. Mais cela conduit rapidement à un volume de mesures incompatible avec les possibilités de stockage et de traitements ultérieurs. Enfin, interviennent les impératifs de la production et de la sécurité et les contraintes financières ou temporelles.

Pour synthétiser et réduire l'ensemble des connaissances, l'automaticien dispose d'un ensemble de méthodes graphiques et d'algorithmes numériques généraux d'analyse de données et de modélisation, qu'il devra choisir pour leur efficacité dans une étude particulière, enchaîner judicieusement et dont il devra juger et critiquer les résultats.

L'importance respective des sources d'informations dépend du procédé, et leur mixage se fait au travers d'hypothèses simplificatrices liées aux objectifs de la modélisation.

## 2 SPECIFICATIONS REQUISES POUR UN LOGICIEL D'AIDE À LA MODELISATION

Dans le contexte décrit plus haut, un logiciel de traitement de données permet d'aider l'utilisateur, principalement au cours des trois dernières étapes : prétraitement et validation des mesures, modélisation et identification, validation des modèles.

Pour être utilisé à profit, un tel logiciel doit présenter un certain nombre de caractéristiques, que nous soulignons maintenant.

Le volume même des données à traiter rend celles-ci difficiles à gérer, à manipuler, à réduire, à visualiser. Pour faciliter et accélérer le travail, il faut disposer d'un outil unique, pour éviter les ruptures dans l'étude et les transformations dans la structure des données, nécessaires pour passer d'un outil à l'autre. Organisées en variables-colonnes et lignes-observations, les données doivent pouvoir être manipulables en mémoire et dans les fichiers par colonnes, par lignes, par ensemble de colonnes et ensembles de lignes.

Un tel outil doit donc rassembler des fonctions assez diverses :

- gestion d'une base de données numériques,
- traitements mathématiques et statistiques,
- visualisation alphanumérique et graphique.

Ce logiciel doit être de manipulation aisée, d'apprentissage rapide et fournir des aides à l'interprétation des résultats, pour permettre de se concentrer sur ceux-ci et sur l'enchaînement des traitements, sans s'embarasser de la mise en oeuvre des méthodes ou du logiciel.

Il doit être également souple, de fonctionnement interactif, pour s'adapter à la diversité des études. Il doit enfin permettre l'introduction et la validation interactives d'hypothèses de structure sur les liaisons entre les variables, car nous l'avons vu, les connaissances sur le procédé ne proviennent pas que des mesures.

Sans prétendre être le seul outil de ce type, ni rassembler exhaustivement les diverses méthodes de modélisation, le Logiciel d'Exploitation de Données (L.E.D.) a été conçu pour répondre à ces critères.

## 3 LE LOGICIEL D'EXPLOITATION DE DONNEES (L.E.D.)

### 3.1 ORGANISATION GENERALE

Les diverses fonctions proposées sont activables par des commandes, à syntaxe simple et standardisée, décodées par un moniteur central d'enchaînement des modules. Un conversationnel spécifique est souvent inclus pour les commandes qui présentent de nombreuses options.

Une commande comprend trois champs :

- un champ "label" de 4 caractères représentant la fonction désirée,
- un caractère précisant la destination des résultats (écran ( - ), imprimante ( \* ), fichier texte ( > )),
- une zone de paramètres composée d'entiers ou d'intervalles d'entiers séparés par des virgules.

Exemple de commande :

CORR-14,28-32,37  
Affichage de la matrice des corrélations pour les variables 14, 28, 29, 30, 31, 32 et 37.

TRAC\*37,14 suivi d'un conversationnel de choix des options graphiques.

Tracé graphique sur imprimante de l'évolution de la variable 37 en fonction de la variable 14.

Une session d'utilisation de L.E.D. consiste donc en une succession particulière de commandes, adaptée à chaque étude. Les erreurs de manipulation, d'enchaînement des fonctions, d'introduction des données sont précisément détectées et localisées, et clairement indiquées à l'opérateur.

### 3.2 FONCTIONNALITES

- gestion des données :

introduction de données numériques en mémoire, par élément, par colonne, avec pas, par ligne : AFFE, AFFC, AFPC, AFFL.

définition et configuration des fichiers de données et de la mémoire : FICH, CONF, CAFI.

chargement complet ou sélectif de fichier en mémoire : LECT, SELI, SECO, CHAR.

sauvegarde de la mémoire en fichier : SAUV.

étiquetage de variables par un label : ETIQ.

- utilitaires généraux :

guide à l'opérateur : AIDE.

accès temporaire ou retour définitif au système : SYST, STOP.

activation de macro-commandes : MACR.

- visualisation :

état de la mémoire ou de fichiers : ETAT.

définition des périphériques de sortie des résultats : PERI.

affichage de colonnes et de lignes de la mémoire, de fichiers et modification du format d'affichage : LISC, LISL, LISF, FORM.

tracé graphique en deux dimensions : GRAF, TRAC. Ces modules, munis de nombreuses options, permettent en particulier la superposition de plusieurs tracés pour visualiser les relations de dépendance entre variables.

#### - traitements :

génération de suites croissantes ou aléatoires : SUIT, ALEA, qui permettent la création de bases de temps ou la simulation de bruits de mesure.

décalage vers le bas ou le haut des éléments d'une variable : AVAN, RETA, qui permettent de compenser les retards purs et d'élaborer ultérieurement par régression des modèles dynamiques du type :

$$y_n = \sum_{i=1}^j a_i y_{n-i} + \sum_{i=0}^k b_i x_{1n-i} + \sum_{i=0}^l c_i x_{2n-i} + \dots$$

filtrage et interpolation : FILT, INTP, pour la mise en forme des signaux et la prise en charge des valeurs manquantes, par exemple, en cas de mesures effectuées à différentes périodes d'échantillonnage.

édition d'histogrammes et de statistiques élémentaires, tests d'ajustement à une loi normale : HIST, STAT, LNOR, pour caractériser les distributions de différentes variables.

centrage et réduction : CENT, REDU, qui éliminent les effets dus à l'hétérogénéité des échelles.

tri des observations selon l'ordre croissant des valeurs d'une variable : TRIE.

étude des corrélations entre variables : CORR, KCOR, SCOR. La comparaison des coefficients de corrélation linéaires et sur les rangs (Kendall, Spearman) fournit des indications non seulement sur l'intensité des liaisons, mais également sur leur nature.

étude des corrélations partielles, linéaires et sur les rangs entre variables : CORP, KCOP. Ces modules permettent d'estimer l'intensité des relations dans un groupe de variables en éliminant l'influence d'un autre groupe de variables.

calcul de fonctions d'intercorrélation : CROS. En indiquant les valeurs extrêmes de telles fonctions, ce module permet, par exemple, l'identification de retards purs entre deux séries.

transformée de Fourier rapide : SPEC.

calcul des corrélations canoniques : CANO.

régression multiple : REGR. Ce module fournit les coefficients du modèle linéaire et les intervalles de confiance associés, les indicateurs de qualité de la régression et permet la mémorisation des valeurs estimées par le modèle et l'examen des écarts valeurs estimées-valeurs mesurées.

régression multiple pas à pas : REGP, qui permet la sélection des meilleurs jeux de variables explicatives.

analyse en composantes principales normée : ACPR. Cette analyse permet la visualisation synthétique dans des plans des relations entre groupes de variables et la détection d'observations aberrantes par examen des projections des observations et leurs contributions à l'inertie des axes factoriels.

classification non ascendante des observations : CLAS, qui permet le partitionnement des observations en groupes homogènes, indiquant des régimes de fonctionnement différents ou l'absence de mesure d'une variable caractéristique importante ou encore la présence de données anormales.

introduction, calcul et édition d'expressions algébriques, à partir des variables de la mémoire et de paramètres introduits par l'utilisateur : DFON, CFON, LFON. Ces modules permettent, entre autres, la normalisation des échelles de mesures, la création de variables auxiliaires, l'introduction dans les modèles de fonctions non linéaires des variables.

dérivation de fonction par rapport à une variable ou un paramètre, intégration d'une variable : DERV, DERP, INTG.

calcul de moyennes et d'écarts-type sur fenêtre glissante, de fonctions discriminantes (carré moyen des différences successives, suites ...) et tests sur les valeurs originelles des variables ou sur les fonctions discriminantes : MOYE, ECTY, REPE, TEST. Ces modules permettent

la détection de ruptures dans des signaux temporels, indiquant les valeurs aberrantes ou des changements de régime de fonctionnement et délimitent, par opposition, les états stables pour une modélisation statique.

### 3.3 L'interpréteur de fonctions

Le module (DFON) réalisant l'analyse lexicale et syntaxique des expressions introduites reconnaît les opérateurs algébriques et fonctions mathématiques usuels, les parenthèses ouvrantes et fermantes, les constantes réelles, les variables de la mémoire notées x1 à x9999 et les paramètres utilisations notés A1 à A9999. Cet interpréteur vérifie la validité des expressions, puis les code sous forme post-fixée, pour accélérer le calcul proprement dit (CFON, DERP, DERV...).

Exemple :

DFON-1 ( Définition de la fonction 1 )

$$F1 = X18^{**2} + X20 / A3$$

CFON-1, 30 ( Calcul de la fonction 1 et rangement des résultats dans la variable 30 )

$$A3 = 35.3$$

Les calculs sont effectués pour toutes les lignes-observations de la mémoire à partir des valeurs correspondantes des variables X18 et X20 et de la valeur du paramètre 3.

L'interpréteur permet ainsi d'intégrer dans les traitements ultérieurs de nouvelles variables créées, à partir des variables originelles, par une fonction introduite de façon rapide et interactive par l'utilisateur.

### CONCLUSION

L.E.D. est opérationnel sur micro-ordinateurs de type PC et mini-calculateurs industriels. Il a été implanté en milieu industriel, où il contribue à résoudre des problèmes de modélisation et de suivi de production dans des domaines variés : traitements de minerais (broyage, séchage et tri de talc), traitements thermiques (séchage de particules de charbon, cokéfaction, fabrication du verre), sidérurgie (recuit et laminage de brames), chimie (granulation). Il est couramment utilisé au L.A.R.A. tant pour réaliser certaines études concrètes que pour illustrer l'enseignement des méthodes de traitement de données.