

Évolution de l'informatique industrielle : de la mini à la microinformatique Conséquences sur la formation des utilisateurs de l'informatique industrielle

par D. Depeyre (Laboratoire de génie et informatique chimiques, École Centrale des Arts et Manufactures, 92290 Chatenay-Malabry.)

Introduction

Avant de développer les arguments qui, à notre avis, ont marqué l'évolution de l'informatique industrielle de la mini-informatique à la micro-informatique, et d'examiner les conséquences de cette évolution sur la formation des utilisateurs de l'informatique industrielle, il peut être intéressant de faire un bref rappel historique sur certains faits marquants des trois dernières décennies :

- 1951 : invention de la chromatographie en phase gazeuse, technique de base des principaux capteurs de composition actuellement utilisés dans le monde industriel ;
- 1954 : fabrication en série des ordinateurs de calcul scientifique et de gestion, matériels qui ont permis l'essor de l'informatique ;
- 1962 : installation des premiers ordinateurs industriels dans des usines européennes de type chimique ou pétrolier ;
- 1968 : généralisation de l'enseignement des bases de l'informatique dans les écoles d'ingénieurs françaises et européennes ;
- 1971 : diffusion des méthodes modernes d'optimisation en milieu industriel, ce qui a conduit à un essai de rationalisation des problèmes d'optimisation industrielle, basés sur une bonne approche des bilans massiques ;
- 1972 : fin de l'apogée de l'utilisation des ordinateurs industriels pour effectuer une commande numérique directe d'ateliers chimiques ;
- 1973 : début du développement du contrôle optimal en ligne sur ordinateur industriel, procédure reconnue par le monde industriel pour son efficacité ;
- 1974 : premières fabrications de micro-processeurs ;
- 1976 : apparition de la microinformatique en contrôle-commande industriel ;
- 1978 : généralisation de l'emploi des micro-ordinateurs en informatique industrielle et apparition d'enseignements spécialisés pour ingénieurs et techniciens du monde industriel ;
- 1979 : mise en évidence du rôle de la micro-informatique pour les petites et moyennes industries.

Nous aurons l'occasion de revenir sur ce bref rappel historique tout au long de l'exposé. Rappelons enfin que la « crise du pétrole » a conduit le monde industriel à optimiser efficacement la marche de ses ateliers en améliorant sa connaissance des bilans énergétiques de chaque unité prise séparément et aussi de chaque atelier et de chaque usine, chacune de ces entités étant considérée comme un système indépendant.

Cet exposé sera structuré selon le plan suivant :

- mise en évidence des fonctions de l'infor-

matique industrielle et examen particulier de l'analyse industrielle en ligne ;

- examen de l'évolution du matériel et du logiciel de l'informatique industrielle ;
- présentation de cycles de formation déjà réalisés par notre laboratoire à l'École Centrale des Arts et Manufactures ;
- conclusion sur l'évolution rapide des techniques et sur la nécessité, de plus en plus grande, pour les ingénieurs et techniciens du monde industriel de se tenir au courant de cette évolution et de son influence sur le travail de tous les jours.

Les fonctions de l'informatique industrielle

Un ordinateur, quel que soit son type et sa taille (gros, petit, mini ou micro), se compose essentiellement :

- d'une unité centrale, permettant la fonction de stockage et de traitement d'informations numériques,
- de mémoires périphériques, pour stocker des informations en plus grand nombre,
- d'éléments d'entrées-sorties, pour communiquer tant avec d'autres ordinateurs ou terminaux qu'avec l'homme.

Ce qui distingue l'ordinateur industriel, outil de l'informatique industrielle, des autres ordinateurs, qu'ils soient de gestion ou de calcul scientifique, ce sont essentiellement de nouveaux types d'entrées-sorties et les possibilités d'interruptions en fonction d'événements extérieurs à lui-même, c'est-à-dire la possibilité de travailler « en temps réel ». Un ordinateur de calcul scientifique, ou de gestion, de type classique, est autonome vis-à-vis du processus industriel ; en revanche, un ordinateur industriel est directement branché au processus industriel (colonne de distillation, réacteur chimique, analyseur de composition, etc...) et il dépouille les informations émanant du processus au fur et à mesure de leur saisie.

Un ordinateur industriel comprend des entrées-sorties, dites entrées-sorties industrielles, qui lui permettent de communiquer directement avec le processus industriel, et des niveaux de priorité associés aux possibilités d'interruptions. Dans un ordinateur de calcul scientifique ou de gestion un seul programme se déroule à la fois dans un ordre défini au moment de sa conception et les éléments d'entrée-sortie n'ont aucune influence sur son déroulement ; ces derniers sont sous la commande de l'unité centrale de l'ordinateur, qui ne s'arrête que lorsque le programme a été entièrement exécuté. Dans le cas d'un ordinateur industriel plusieurs programmes peuvent se trouver simultanément en mémoire interne. Un événement

extérieur, qui a été classé comme ayant une priorité donnée, peut interrompre le déroulement d'un programme d'une priorité inférieure en créant une interruption, qui est prise en compte et traitée par un programme, mis en mémoire centrale, chargé de répondre à l'interruption. On ne reviendra au programme de priorité inférieure qu'après avoir exécuté tous les ordres qui se rapportent à des opérations plus urgentes. Il est rappelé que le niveau de priorité de toute application industrielle traitée par un ordinateur industriel est à définir au moment de l'élaboration du programme.

Avant l'utilisation de l'outil informatique, la conduite de processus avait subi l'évolution suivante :

- le contrôle manuel,
- le contrôle manuel avec enregistrements,
- le contrôle avec régulateurs locaux,
- le contrôle avec régulateurs centralisés en salle de contrôle.

En 1958, au moment où les premiers ordinateurs industriels apparurent sur le marché international, le contrôle avec régulateurs analogiques automatiques centralisés en salle de contrôle était la forme la plus évoluée de la conduite de processus de type chimique ou pétrolier. Cette forme de conduite présentait certains inconvénients :

- manque d'intégration des informations,
- difficulté de la conduite globale de l'unité industrielle,
- manque de cohérence dans les résultats, due en particulier à l'intervention directe des opérateurs,
- coût important des enregistrements de données,
- impossibilité quasi-absolue de compléter une conduite d'atelier par un contrôle optimal pour atteindre certains objectifs technico-économiques.

La plupart de ces difficultés ont pu être levées par l'introduction des ordinateurs industriels dans les boucles de régulation des ateliers industriels.

L'ordinateur industriel, grâce à ses caractéristiques propres, peut effectuer les différentes fonctions suivantes :

- l'acquisition des données,
- le traitement des données,
- le guide-opérateur,
- le contrôle de supervision,
- la commande numérique directe,
- et, actuellement, le contrôle optimal.

Dans la phase d'acquisition des données, l'ordinateur industriel reçoit du processus des informations, les convertit si cela est nécessaire en informations numériques et les imprime pour fournir des enregistrements

facilitant la surveillance du processus industriel ou simplement pour enregistrer des résultats expérimentaux (températures, pressions, niveaux, etc...).

La phase de traitement des données a pour objet de rendre exploitable les données acquises dans la phase précédente pour leur utilisation, soit pour remplacer le journal de quart, soit pour établir des bilans en masse et en énergie, soit enfin pour effectuer une simulation du processus sur ordinateur. Rappelons que toutes les données émanant de capteurs de composition comme les chromatographes en phase vapeur ne sont pas directement exploitables à l'issue de la phase d'acquisition des données.

Pendant l'étape de guide-opérateur, l'ordinateur détermine, grâce à la connaissance des données du processus acquises en temps réel et à la disposition d'un programme de simulation mis en mémoire de l'ordinateur, les changements éventuels de conditions opératoires et c'est à l'opérateur d'assurer lui-même les consignes, en particulier de positionner sur les régulateurs analogiques les nouveaux points de consigne.

Au cours de l'étape, dite de contrôle de supervision, c'est l'ordinateur qui commande les valeurs de consigne des différents régulateurs analogiques existant dans le processus industriel.

Au cours d'une commande numérique directe, l'ordinateur commande directement les organes de commande sans passer par l'intermédiaire de régulateurs analogiques.

En résumé, nous pouvons dire que si l'on dispose d'un ordinateur qui sait effectuer une acquisition et un traitement des données du processus en temps réel l'ordinateur peut élaborer des ordres à trois niveaux différents :

- au niveau de la machine à écrire : c'est le guide-opérateur ;
- au niveau du point de consigne d'un régulateur analogique : c'est le contrôle de supervision ;
- au niveau de l'organe de commande, telles que les vannes : c'est la commande numérique directe.

Depuis quelques années se développe une nouvelle fonction de l'ordinateur industriel : c'est le « contrôle optimal ». Cette phase de contrôle optimal correspond à un guide-opérateur, dans lequel la mémoire de l'ordinateur comportera non seulement un programme de simulation du processus industriel, mais aussi un programme permettant d'exécuter une procédure numérique d'optimisation sur une fonction économique dans un cadre de contraintes définies. Devant les difficultés rencontrées par le développement de la commande numérique directe dans l'industrie et dans la nécessité reconnue de laisser à l'opérateur du processus une marge de manœuvre, c'est cette phase de contrôle optimal qui est aujourd'hui la plus étudiée et la plus féconde de par ses applications.

Une question se pose alors à nous-même : Quelle est la place de l'informatique indus-

trielle dans les possibilités d'analyse industrielle en ligne ?

Le succès de l'utilisation d'un ordinateur industriel, quel que soit son type, quelles que soient ses performances, dans le contexte d'un processus industriel de type chimique ou pétrolier dépend essentiellement de la qualité des capteurs de mesures installés sur le processus à conduire. Parmi les capteurs de mesure, il y a lieu d'examiner plus particulièrement les analyseurs en ligne, car les autres types de capteurs de mesure posent beaucoup moins de difficultés dans leur branchement sur ordinateur industriel.

Les analyseurs en ligne sur un processus industriel et leur couplage sur un ordinateur font l'objet de nombreuses publications depuis plus d'une dizaine d'années. Il est utile de rappeler ici la classification habituellement utilisée pour ces analyseurs en ligne :

- analyseurs non sélectifs : ils servent à mesurer certaines grandeurs physiques, tels que la viscosité d'un fluide, la conductivité thermique, l'indice de réfraction, la densité, la constante diélectrique, etc... ;
- analyseurs sélectifs : ils servent à préciser les compositions ; on rencontre les chromatographes en phase gazeuse, les spectromètres de masse, les spectromètres infra-rouge et ultra-violet, etc...

Les problèmes spécifiques des capteurs de composition en ligne sur un processus industriel et couplés sur un ordinateur travaillant en temps réel sont les suivants :

- choix de la fréquence d'échantillonnage : quelques dizaines de points par seconde (chromatographie en phase gazeuse) à quelques dizaines de milliers de points par seconde (spectrométrie de masse) ;
- détection de pics et confirmation des pics détectés ;
- repérage des points extrêmes des pics ainsi que des points d'inflexion, en utilisant des techniques numériques basées sur l'évaluation des dérivées premières et secondes du chromatogramme ;
- choix des gains d'amplification des amplificateurs situés en aval des analyseurs dans la chaîne d'acquisition des données ;
- dans le cas où la composition du mélange ne peut être obtenue qu'à l'aide de deux ou plusieurs analyseurs en ligne, possibilité de recouplement des résultats obtenus avec chacun des analyseurs ;
- filtrage des données au moment de l'acquisition de manière à ce que le rapport signal/bruit soit le plus grand possible ;
- etc...

Évolution du matériel et du logiciel de l'informatique industrielle

L'évolution du matériel s'est traduite par une diminution de type exponentiel du rapport coût/performance des matériels issus de l'électronique.

Donnons quelques ordres de grandeur de coûts de matériel :

- à la fin de la décennie 1960-1969 : un mini-ordinateur industriel de 32 koctets de mémoire centrale comportant un cycle de base de 4 microsecondes était évalué, selon l'importance des entrées-sorties industrielles de

type analogique et de type numérique, de 800 à 1 200 KF ; rappelons qu'un tel ordinateur installé dans un atelier de production chimique ou pétrolier représentait alors un investissement de l'ordre de 1 à 2 % de l'investissement total ;

- à la fin de la décennie 1970-1979 : un micro-ordinateur de même capacité de mémoire centrale avec un cycle de base inférieur à la micro-seconde est évalué, selon la configuration d'entrées-sorties, de 40 à 100 KF ; rappelons qu'en dix ans le coût de la vie a doublé, ce qui signifie que le matériel a diminué réellement de 25 à 50 fois.

Un second critère est intéressant pour mesurer l'évolution du matériel de l'informatique industrielle : c'est le volume des appareillages. Donnons quelques valeurs numériques pour illustrer ce point de vue : le nombre d'équivalents-transistor qu'on peut inscrire sur 1 mm² de silicium a beaucoup évolué. Vers 1970-1972, il était possible d'inscrire une centaine d'équivalents-transistor par millimètre carré de silicium. En 1974, l'apparition des microprocesseurs correspond au fait de pouvoir inscrire un millier d'équivalents-transistor par mm² ; depuis cette date on multiplie par 10 les performances tous les 2 ans ; ce qui nous conduira vers 1980 à pouvoir inscrire 1 000 000 d'équivalents-transistor par mm². Nous pouvons remarquer que nous sommes déjà dans l'ère de l'électronique submicronique.

En ce qui concerne le logiciel, l'évolution a été beaucoup moins rapide. Rappelons que tout matériel d'informatique industrielle utilise un langage auto-codé ou un langage assembleur qui lui est spécifique. L'apparition depuis une demi-douzaine d'années des microprocesseurs et des micro-ordinateurs n'a fait que multiplier le nombre de logiciels associés à l'informatique industrielle.

En conclusion, nous pouvons dire que le coût n'est plus la caractéristique essentielle des appareillages de l'informatique industrielle. Le problème qui est actuellement primordial consiste dans le choix de matériels avec logiciels de base associés, dont les performances évoluent mois à mois et pour lesquels il est devenu plus en plus difficile de connaître au bon moment l'information nécessaire.

C'est la raison pour laquelle la formation des utilisateurs de l'informatique industrielle a dû s'adapter à cette évolution très rapide des matériels.

Présentation de cycles de formation déjà réalisés à l'École Centrale

Dans le cadre des cycles de formation développés à l'École Centrale par le Laboratoire de génie et informatique chimiques, il est intéressant de s'arrêter à ceux qui sont plus particulièrement réservés à l'apprentissage de l'informatique industrielle :

- Initiation aux ordinateurs industriels : contrôle-commande des ateliers chimiques ;
- Microprocesseurs : conditions de développement dans l'industrie ;

- Utilisation de la microélectronique et développement des microprocesseurs dans les Petites et Moyennes Industrie (P.M.I.).

Le cycle « Initiation aux ordinateurs industriels, contrôle-commande des ateliers chimiques », d'une durée de cinq jours, s'adresse à des ingénieurs et à des techniciens travaillant dans le domaine de la production et dans celui de l'instrumentation des procédés de type chimique et pétrolier. Une sensibilisation à l'informatique de base (calcul scientifique ou gestion) est souhaitable. Un tel stage a pour but de montrer quels sont les moyens actuellement disponibles pour réaliser un contrôle-commande dans les conditions optimales. En particulier il s'agit de comprendre comment peut être défini un cahier des charges de contrôle-commande à partir de manipulations pratiques d'informatique industrielle sur une électrovanne et sur une unité pilote de distillation.

Ce cycle, qui comporte 35 heures d'enseignement sur une semaine, est organisé selon le plan suivant :

- généralités sur l'informatique industrielle et ses fonctions : 3 h 30 ;
- apprentissage d'un langage assembleur : 10 h 30 ;
- généralités sur un système d'exploitation d'ordinateur industriel : 3 h 30 ;
- définition et réalisation de l'automatisation d'une électrovanne, en petits groupes : 10 h 30 ;
- présentation d'un système de guide-opérateur en ligne sur une colonne de distillation : 3 h 30 ;
- manipulation avec utilisation du modèle de guide-opérateur pour le contrôle-commande d'une unité pilote de distillation : 3 h 30.

A l'issue d'un tel stage, réalisé déjà plusieurs fois, les auditeurs connaissent les bases de l'utilisation de l'informatique industrielle, ont effectué une étude simple mais complète d'automatisation (électrovanne) et ont manipulé sur un ordinateur effectuant un guide-opérateur (unité de distillation).

Le cycle « Microprocesseurs. Conditions de développement dans l'industrie », d'une durée de cinq jours, s'adresse à des ingénieurs et à des techniciens sensibilisés au problème de l'évolution du matériel électronique et à ses applications industrielles en temps réel. Une sensibilisation à l'informatique de base (calcul scientifique ou gestion) est souhaitable. Ce stage a pour but de montrer aux auditeurs les nouvelles conditions dans lesquelles les microprocesseurs ont placé les ingénieurs et techniciens dans le contexte industriel. Sur une étude comparative entre les systèmes de conduite par mini-ordinateur et par micro-ordinateur, il est montré les avantages et les inconvénients au niveau industriel de ce prodigieux développement technologique.

Ce cycle, qui comporte 35 heures d'enseignement sur une semaine, est organisé selon le plan suivant :

- généralités sur l'informatique industrielle et ses fonctions : 3 h 30 ;
- présentation des matériels des microprocesseurs (circuits LSI, mémoires ROM,

RAM, PROM, ...) et de l'environnement matériel d'un microprocesseur : 7 heures ;

- présentation des logiciels des microprocesseurs : 7 heures ;
- présentation des critères de choix des microprocesseurs : 3 h 30 ;
- examen des fonctions réalisables sur micro-ordinateurs et étude de cas : 10 h 30 ;
- manipulations sur microprocesseur en ligne avec un organe de commande : 3 h 30.

A l'issue d'un tel stage, réalisé une seule fois, les auditeurs connaissent les bases de l'utilisation des microprocesseurs en informatique industrielle et ont examiné avec précision comment se posent les problèmes de branchement sur un microordinateur.

Le cycle « Utilisation de la microélectronique et développement des microprocesseurs dans les P.M.I. », comporte trois sessions de trois jours étalées sur deux mois. Il ne nécessite pas de connaissance préalable en informatique et en électronique. Il s'adresse à des cadres techniques, administratifs et commerciaux des petites et moyennes industries. Il a pour objectif de proposer à ces cadres une formation devenue nécessaire pour effectuer une mutation de la conception des produits fabriqués, ceci grâce à l'utilisation des microprocesseurs. Cette formation est progressive et elle est conçue de façon à permettre aux auditeurs de bien connaître les possibilités de ces nouvelles techniques et les problèmes rencontrés, sans avoir au préalable à s'initier à l'électronique et à l'informatique mises en œuvre dans les microprocesseurs.

Ce cycle, pour cadres des P.M.I., est organisé selon le plan suivant :

- 1^{re} session : acquisition des connaissances de base (traitement de l'information, signaux logiques, signaux analogiques) et manipulations sur un montage électronique et sur un mini-ordinateur ;
- 2^e session : présentation des caractéristiques des microprocesseurs (matériel, logiciel, conditions de choix, évaluation précise des coûts, fonctions réalisées par des micro-ordinateurs) et manipulation sur un microprocesseur à vocation pédagogique ;
- 3^e session : résolution de problèmes réels par des études de cas concernant des problèmes réels du monde industriel (conditions d'utilisation des critères de choix, conditions d'adaptation de l'outil à la résolution d'un problème donné de fabrication, conditions d'évaluation des coûts et de la formation des personnels) et manipulation sur un micro-ordinateur ayant pour objet le pilotage et la commande numérique d'un organe de commande.

Évolution rapide des techniques et nécessité de la formation

Il y a une dizaine d'années, il existait pour un problème donné un petit nombre de solutions techniques informatiques (trois à dix) ; actuellement l'avancement technologique permet, pour un problème donné, d'avoir le choix entre plusieurs dizaines de solutions techniques informatiques. Rappelons qu'il doit exister, à l'heure actuelle, environ une

centaine de microprocesseurs à logiciel incompatible.

De plus, souvenons-nous qu'il apparaît sur le marché mondial, donc sur le marché français, un nouveau microprocesseur tous les quinze ou vingt jours.

Comment peut-on suivre l'évolution rapide des techniques de l'informatique industrielle sans devenir un spécialiste de la microélectronique ? C'est le problème assez ardu auquel le monde industriel est confronté.

Il est difficile de donner une réponse à une telle question. Il est néanmoins possible pour faire face efficacement à cet essor technologique d'avoir une connaissance de base de l'informatique industrielle (informatique classique et fonctions particulières associées au temps réel), dont l'apprentissage correspond à un enseignement de quelques journées dans un centre spécialisé. Un tel enseignement doit comporter obligatoirement, à notre avis, les trois volets suivants :

- apprentissage du vocabulaire associé à cet essor technologique,
- définition du cahier des charges pour un problème donné d'automatisation se rapportant à une unité industrielle ou à un analyseur particulier,
- réalisation, sous forme dirigée, d'un problème complet d'automatisation, même si ce problème est très simple, avec manipulations sur outil informatique.

Notre laboratoire propose, dans ce sens, un enseignement qui a déjà fait ses preuves et qui fait appel à de nombreux spécialistes du monde universitaire et du monde industriel.

Bibliographie

- Bornes H., « L'enseignement de l'informatique », *Techniques de l'Ingénieur*, 1979, H-460, 1.
- Depyre D., « Contrôle-commande et informatique industrielle », *Automatique et informatique industriels*, 1979, à paraître.
- Depyre D., « Optimisation de l'exploitation des ateliers chimiques », *Informations-Chimie*, 1974, 138, 93.
- Tempier J., « Mini-ordinateurs dans la gestion industrielle et le contrôle des processus », Dunod, Paris, 1973.
- Lilen H., « Introduction à la micro-informatique. Du microprocesseur au micro-ordinateur », Éditions Radio, Paris, 1977.
- Arouette R. et Lilen H., « Théorie et pratique des microprocesseurs. Matériels. Logiciels. Mise en œuvre », Éditions Radio, Paris, 1977.
- Lilen H., « Guide mondial des microprocesseurs. Critères de sélection. Caractéristiques. Classement », Éditions Radio, Paris, 1976.
- Brie C. et Guivarch M., « Critères de choix des microprocesseurs existants », *Nouvel automatisme*, 1978, 1, 264.
- Brie C. et Guivarch M., « Panorama des microprocesseurs existants », *Nouvel automatisme*, 1978, 2, 331 ; 3, 369.
- École Centrale des Arts et Manufactures, « Cycles de formation continue, 1980 ».