

IFAC



WARSZAWA 1969

INTERNATIONAL FEDERATION
OF AUTOMATIC CONTROL

**Applications et tendances actuelles
de l'emploi des calculateurs numeriques
dans les ateliers de l'industrie chimique**

Fourth Congress of the International
Federation of Automatic Control
Warszawa 16-21 June 1969

SURVEY
PAPER

44



Organized by
Naczelna Organizacja Techniczna w Polsce

APPLICATIONS ET TENDANCES ACTUELLES DE L'EMPLOI
DES CALCULATEURS NUMERIQUES DANS LES ATELIERS
DE L'INDUSTRIE CHIMIQUE

L. BADGUERAHANIAN
PECHINEY-SAINT-GOBAIN

Ce n'est d'abord que rumeur légère
petit vent rasant la terre
Le barbier de Séville

INTRODUCTION

Une période de recherches ferventes, d'essais dispersés, précède souvent les applications industrielles les plus importantes et on connaît peu, dans l'histoire industrielle, de matériel qui se soit imposé d'une manière générale et immédiate. Cependant, lors de ces périodes de développement les progrès réalisés indiquent clairement aux techniciens les possibilités promises par la mise au point d'une nouvelle technique. Il en a été notamment ainsi pour la généralisation des appareils de mesures et de régulation de 1940 à 1950, durée qui a été nécessaire pour modifier les instruments anciens et assurer leur fidélité, leur solidité et pour les adapter à l'emploi attendu dans une économie qui semble aujourd'hui évidente. Depuis 1959, il en est de même pour l'utilisation des calculateurs numériques industriels en vue d'une meilleure conduite automatique des ateliers de l'industrie chimique et pétrochimique. Dès cette date des essais en fabrication furent entrepris en particulier à la Texas Oil Company dans son usine de Port-Arthur cependant que des études théoriques et expérimentales sur pilotes se déroulaient surtout dans les universités et dans les centres de recherches. Depuis dix ans les constructeurs, les utilisateurs et les chercheurs ont progressé traversant des moments d'optimisme et de désespoir; malgré les controverses et le scepticisme, la mise au point de ce nouveau moyen de progrès touche à sa fin. Et il suffit, pour mesurer le chemin parcouru, de comparer le degré de confort et de fiabilité des systèmes récemment installés avec les laborieux efforts et les défaillances propres aux premières installations.

Le nombre de calculateurs utilisés à la fin de 1968 pour la conduite de procédés industriels s'élève pour le monde entier à plus de 2.500 (1). La part de l'industrie chimique et pétrolière représente environ le cinquième de ce chiffre et l'évolution de cette tendance est indiquée(2) sur les figures 1 et 2. L'apparition toute récente de petites machines perturbe l'extrapolation de la courbe de croissance du nombre d'installations. Pour évaluer le développement futur elle devrait être remplacée par la fraction des investissements en matériel de régulation relative aux systèmes de conduite par calculateurs numériques.

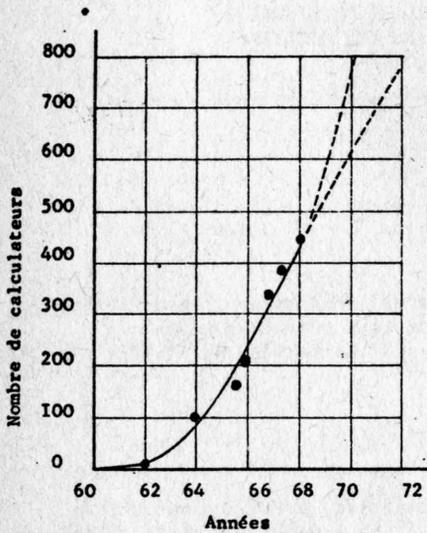


FIGURE I - Evolution du nombre de calculateurs industriels installés dans l'industrie chimique et petrochimique.

Industries Dates	Chimie & Pétrole	Métaux	Energie	Divers
8/1961	18	12	40	10
9/1963	92	55	117	76
3/1965	166	106	161	132
8/1965	212	144	203	235
9/1966	336	242	289	485
3/1967	386	260	324	601
12/1967	442			

FIGURE 2 - Evolution du nombre de calculateurs industriels installés dans les diverses branches d'activité.

Le nombre des unités ainsi équipées se partage en deux parties sensiblement égales pour l'industrie du pétrole et pour l'industrie chimique et pétrochimique.

CHIMIE ET PETROCHIMIE	
Ethylène	23
Ammoniac	11
Polymérisation	17
Analyseurs (chromatographes)	14
Unités pétrochimiques	87
Unités chimiques	27
Pilotes d'université	8
Etudes de procédés	19
Divers	20
Total chimie	226
Raffinage	102
Distribution	71
Extraction	30
Etudes de procédés	13
Total pétrole	216
Total général (déc.1967)	442

FIGURE 3 - Evaluation de la répartition des calculateurs numériques dans l'industrie chimique et petrochimique.

Il faut encore remarquer que dans ce dernier cas, la chimie dérivée du pétrole représente une nette majorité (3) des cas comme le montre la figure n° 3. Enfin il faut noter que plus de la moitié des installations en fonctionnement sont implantées aux Etats-Unis où le taux de croissance est également le plus élevé.

La liste des principaux facteurs qui influence le choix entre un système conventionnel de conduite et un système comportant un calculateur numérique explique les constatations ci-dessus.

FACTEURS QUI FAVORISENT LA CONDUITE NUMERIQUE

- Capacité de production élevée (CA > 10 MF/an)
- réactions complexes avec de nombreux sous-produits
- schéma conduisant à de nombreuses interactions
- flexibilité de la demande commerciale
- matières premières de qualités variables
- main-d'oeuvre de production importante
- procédé nouveau imparfaitement connu
- nécessité de régulations plus complexes que P.I.D.
- reproductibilité des opérations discontinues
- nécessité de respecter plusieurs critères de qualité

FACTEURS QUI LIMITENT LA CONDUITE NUMERIQUE

- prix des installations (0,5 à 3 MF)
- personnel nécessaire pour sa mise en place
- méconnaissance de la fiabilité
- l'habitude

FIGURE 4 - Liste des facteurs pour le choix d'un système de conduite d'un procédé chimique.

Il n'est pas toujours facile de justifier la rentabilité immédiate d'un calculateur industriel et c'est souvent une estimation des services rendus dans la meilleure connaissance des procédés qui emporte la décision d'achat d'un système numérique. En fait l'introduction d'un ordinateur dans la gestion ne se présente pas de façon essentiellement différente. D'une manière générale, l'estimation de la rentabilité se fera sur les points suivants :

- augmentation de la capacité de production;
- amélioration des rendements sur les matières premières;
- diminution des consommations d'utilités;
- réduction du personnel d'exploitation;
- accroissements dans la qualité du produit.

Les valeurs des écarts sur ces grandeurs peuvent être estimées par différentes méthodes :

- comparaison avec les limites théoriques
- simulation sur machine des perturbations réelles
- essais de conduite avec une installation provisoire.

Mais souvent le bilan comporte de nombreux points critiquables et le choix final comporte encore une part importante de risque et la décision sera fortement influencée par des impressions générales parmi lesquelles la méfiance résultant des différences entre les références optimistes et les réalisations correspondantes joue un grand rôle.

PRINCIPALES TACHES ASSUREES PAR UN CALCULATEUR INDUSTRIEL

SURVEILLANCE

- scrutation et mémorisation de grandeurs logiques.
- scrutation et mémorisation de grandeurs analogiques.
- indication d'alarmes.
- traitement des grandeurs par calcul.
- édition d'un journal de bord.
- visualisation de l'état de l'unité.

CONDUITE

- régulation conventionnelle
- régulation avec modèle
- commande directe
- commande d'opération séquentielle
- optimisation statique
- optimisation dynamique
- démarrage et arrêt
- gestion intégrée

La figure n° 5 rassemble ces différentes tâches en deux familles définissant la fonction de surveillance, rôle passif de mesure et de signalisation de l'état du procédé, et la fonction de conduite complétant la précédente par des actions de commande pour réaliser un objectif imposé à l'installation.

FIGURE 5 - Principales tâches prises en charge par un calculateur.

FONCTION DE SURVEILLANCE

Les tableaux de commande des unités équipées de système conventionnel se composent d'un grand nombre d'enregistreurs et de voyants de signalisation. Seule la miniaturisation de ces appareils permet de les rassembler dans des salles dont les dimensions restent importantes. Au contraire, lorsqu'un ordinateur est couplé sur une installation le poste de commande a un volume réduit et les indications apparaissent soit sur un ou deux machines à écrire, soit sur un écran cathodique. Le pupitre de l'opérateur ne comporte que quelques boutons et deux à trois affichages numériques. Cette apparence traduit les modifications apportées par la nouvelle technique :

- vitesse de scrutation variable de 1 seconde à plusieurs minutes.
- mémorisation des mesures après corrections statistiques et éventuellement de mises à l'échelle.
- vérification par traitement numérique de la validité de certaines mesures.
- calcul des grandeurs non mesurables directement : débits massiques, coefficients d'échange, rendements.
- dépouillement direct d'analyseurs industriels, chromatographes, spectromètres, diffracteurs de rayons X.
- comparaison rapide à des seuils d'alarme dont les valeurs sont facilement ajustables.
- établissement de relevés périodiques ou à la demande de l'opérateur.

La programmation de ces tâches doit tenir compte de leur priorité relative et doit permettre à l'opérateur de disposer sous une forme pratique des informations qui lui sont nécessaires. Sur le plan technique les systèmes d'acquisition de mesures sous forme numérique engendrent un effort de la part des constructeurs vers la mise au point de capteurs directement connectables à un ordinateur.

FONCTION DE CONDUITE

La commande par ordinateur numérique peut s'exercer selon deux modes d'action : indirectement en modifiant le point de consigne de régulateurs analogiques ou directement en agissant directement sur les organes de réglage. La deuxième technique de conduite directe (D.D.C = Direct Digital Control) tend à supplanter la première (Supervisor).

En quasi totalité, les régulations analogiques utilisent une action du type proportionnel, intégral et différentiel (P.I.D.). Il est possible d'obtenir des correcteurs plus compliqués en associant en cascade plusieurs régulateurs, mais les possibilités restent limitées. L'utilisation d'un

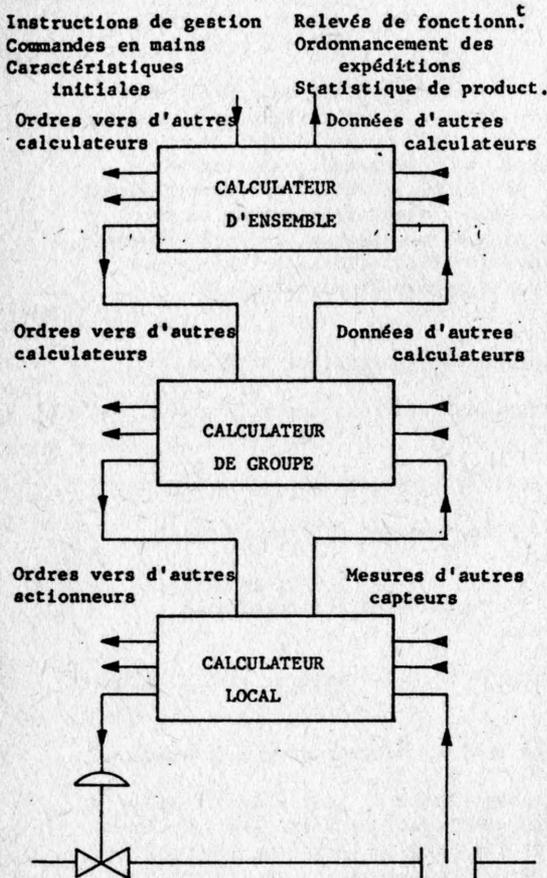


FIGURE 6 - Schéma de principe d'un système de conduite hiérarchisée.

calculateur numérique⁽⁴⁾ pour élaborer les actions sur le procédé rend possible une conduite basée sur une méthode de correction quelconque. Elle permet en particulier d'adapter les gains des différentes actions d'un correcteur P.I.D. à l'état du fonctionnement de l'installation ou de lui adjoindre un temps mort en fonction de l'inertie de l'appareillage. La régulation prédictive (feedforward) dont l'action principale est basée sur le modèle mathématique du procédé améliore les résultats de la classique régulation déductive (feed-back) selon la connaissance de l'installation.

Si une meilleure régulation des unités entraîne un fonctionnement plus économique de celles-ci, un nouveau progrès peut être fait en adaptant les consignes des variables de commande à un objectif économique d'ensemble de la fabrication. Cette optimisation statique vise un meilleur fonctionnement de l'unité en régime stable. L'optimisation dynamique tend à effectuer les changements d'allure dans les conditions les plus favorables. Les deux tâches peuvent être accomplies par un calculateur numérique. Généralement c'est le même appareil qui sert à la régulation et à l'optimisation de l'unité mais les caractéristiques des calculateurs impliquées étant différentes pour les deux types d'application, il peut être préférable de séparer les fonctions comme l'indique la figure n°6 représentant le principe d'une conduite hiérarchisée⁽⁵⁾ où la gestion complète d'une usine peut être automatisée à partir d'un calculateur d'ensemble.

Pour terminer il faut signaler le rôle important que peut jouer un système de conduite numérique lors des démarrages et des arrêts de certaines fabrications.

PRINCIPALES APPLICATIONS ACTUELLES

Les différentes fabrications équipées de systèmes numériques de conduite ne font pas l'objet de publications précises quant à la nature de la production et aux fonctions assurées par le calculateur. Dans de nombreux cas ces systèmes sont encore en évolution et donc difficiles à définir. Cependant des listes résultant de questionnaires, envoyés tous les ans aux utilisateurs sont publiées dans les revues techniques et permettent de dresser des tableaux comme celui de la figure n° 3.

Les quatre premiers types d'applications indiqués sur ce tableau seront décrits dans ce qui suit. Les autres fabrications importantes intéressées étant celles conduisant aux produits suivants :

Acetaldehyde,
Méthanol,
Styrène,
Naphtalène,
Isoprène,
Alcools lineaires,
Acide terephtalique,
Butadiène,
Soufre,
Oxygène,
Engrais.

ETHYLENE

Actuellement la production d'éthylène s'effectue en majeure partie par pyrolyse d'essence lourde et s'accompagne de productions secondaires d'hydrocarbures valorisables. La taille des unités est de l'ordre de 100.000 t/an à 300.000 t/an ce qui correspond à des chiffres d'affaires de 100 MF à 300 MF.

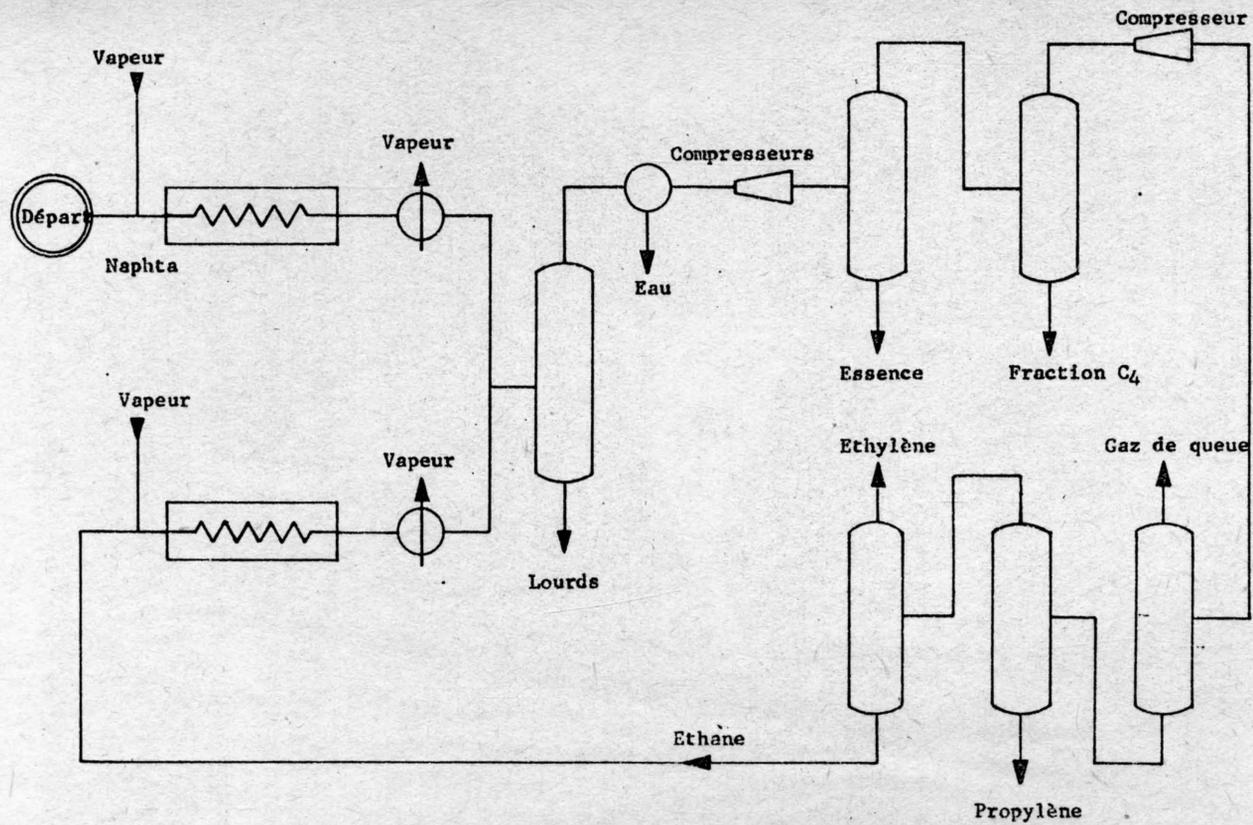
Le schéma de fabrication est représenté sur la figure n° 7. La charge diluée par de la vapeur d'eau est craquée dans des fours à chauffage direct dont les effluents sont refroidis brutalement dans une chaudière fournissant la vapeur nécessaire pour entraîner les compresseurs et les pompes de l'installation. Après cette trempe, les produits sont débarrassés d'hydrocarbures lourds, de l'eau introduite avant la réaction et d'une essence à haut indice d'octane. Ensuite, les hydrocarbures en C4 principalement constitués de butènes et de butadiène sont récupérés. Enfin un ensemble de distillations sous pression et à basse température sépare les hydrocarbures légers propane, éthane, éthylène des gaz de queue constitués par du méthane et de l'hydrogène qui servent en général de combustible. L'éthane dont les emplois sont peu nombreux alimente souvent un four de craquage supplémentaire dont les effluents sont rassemblés avec ceux des fours de craquage de naphta.

Une des caractéristiques des unités de production d'éthylène est la nécessité d'adapter leur fonctionnement à une demande variable selon les sous-produits. Le prix de valorisation de ces hydrocarbures varie notablement en fonction du marché et le spectre des produits obtenus pour des conditions de marche données diffère pour des alimentations d'origine différente sans qu'il soit possible de relier précisément les résultats à l'analyse du naphta. Cette flexibilité est d'autant plus nécessaire que les stockages intermédiaires sont de faibles capacités (6).

Les variables d'action sur les réactions de craquage sont : le débit d'alimentation en naphta, le débit d'alimentation en vapeur, la température et la pression de sortie des fours. Selon les matières premières il est nécessaire d'ajuster ces variables d'action pour obtenir une répartition donnée des produits de craquage. Les réponses principales du procédé correspondent à :

- un meilleur rendement en produits oléfiniques lors d'une élévation de température de sortie des fours.
- un taux de craquage moins élevé pour des débits d'alimentation plus forts.
- un taux de craquage plus élevé pour un temps constant si le rapport vapeur/hydrocarbure augmente.
- un taux de cokage (dépôt d'une pellicule de carbone sur les parois du four) plus grand lorsque le taux de craquage augmente.

La cinétique des différentes réactions est encore mal connue et les modèles généralement utilisés sont en général empiriques.



11

FIGURE N° 7 - Schéma de procédé pour la fabrication d'éthylène.

Les principales contraintes de ces installations se rapportent : au débit des compresseurs, à la puissance disponible sur ces machines, à la capacité des cycles frigorifiques, à la capacité des colonnes de distillation, enfin le cokage doit être limité pour permettre le transfert de chaleur nécessaire à la réaction endothermique de craquage.

Les possibilités offertes par l'emploi des calculateurs numériques dans ce domaine ont été utilisées selon deux voies différentes. La première utilisation est une simulation de l'unité servant à fournir au conducteur de l'installation les réglages correspondant à la rentabilité maximale compte-tenu des conditions économiques extérieures et des coûts de fonctionnement. La deuxième approche vise une meilleure régulation de la marche de l'unité qui conduit à l'augmentation de la capacité utile d'une installation donnée.

Dans le premier cas, le modèle empirique des fours de craquage exprime la sévérité de la réaction et le taux de conversion en éthylène en fonction des caractéristiques de marche de ces réacteurs. Compte-tenu des contraintes de l'installation de récupération, une méthode de gradient permet la recherche du profit maximum. En général, le modèle du four de craquage est actualisé d'après les analyses des effluents pour tenir compte de l'état d'encrassement et de la qualité de l'alimentation. Les analyseurs par chromatographie ou par conductibilité thermique sont reliés directement au calculateur pour l'exploitation des mesures et le calcul des bilans matériels qui permettent de vérifier les indications fournies par les nombreux capteurs de l'installation. La deuxième approche vise une meilleure rentabilité par une marche régulière et plus près des contraintes de capacité des installations principalement en ce qui concerne les distillations et les compresseurs. Les colonnes de fractionnement fonctionnent dans des conditions difficiles et comportent de nombreux plateaux de séparation. Il en résulte des réponses complexes avec des retards plus importants. La conduite prédictive de tels ensembles a fait l'objet de nombreuses études théoriques et pratiques qui ont permis de réaliser des gains allant jusqu'à 30 % sur les capacités de fonctionnement en améliorant également le rendement des séparations. Pour les compresseurs un facteur de sécurité important est la limite maximale de pression à l'aspiration et la régulation de cette grandeur en fonction des différentes perturbations de l'unité conduit à réduire les marges prises lors de la conduite conventionnelle de l'unité.

Pour une installation équipée⁽⁷⁾ d'un système de conduite effectuant les tâches de régulation et d'optimisation de fonctionnement selon des conditions du marché, les facteurs de rentabilité sont les suivants :

- fonctionnement près des contraintes propres à chaque appareil.
- meilleure connaissance des variables de l'unité, notamment des compositions et des débits des principaux courants.

AMMONIAC

Les grosses unités actuelles ont une capacité d'environ 1000 t/J. ce qui représente un chiffre d'affaires de 100 MF/an (20 M \$/an). Elles utilisent comme matière première du naphta ou des hydrocarbures plus légers et fonctionnent selon le schéma de procédé de la figure n° 8. La première étape de la fabrication consiste à préparer le mélange $N_2 + 3 H_2$, l'hydrogène étant produit par action de la vapeur d'eau sur l'hydrocarbure de départ avec formation secondaire de méthane qui est brûlé par introduction d'air qui fournit ainsi l'azote nécessaire. Un système d'épuration permet d'extraire le CO_2 formé et donc d'éliminer le carbone et l'oxygène contenus dans les matières premières et inutiles pour la synthèse. La deuxième étape est une réaction catalytique pour former NH_3 qui est séparé à l'état liquide du mélange incomplètement transformé. Un recyclage de ce produit permet d'atteindre une conversion élevée, une purge assurant l'évacuation des gaz inertes.

Les objectifs de conduite d'une telle unité doivent conduire à un prix de revient minimum pour une production journalière en général imposée. Ils portent sur :

- le rendement et la sécurité de marche des fours de réforming primaire
- l'obtention d'une conversion maximale du CH_4 et du CO
- l'élimination optimale du CO_2
- le réglage des compresseurs et de leurs réfrigérants
- la valeur des purges d'inertes
- le maintien d'un rapport H_2/N_2 proche de 3.

Etant donné les nombreuses interactions dues au procédé, les efforts ont été faits principalement dans la recherche de modèles statiques de ce type d'installation⁽⁸⁾. Pour la préparation des gaz, ils font intervenir surtout des calculs d'équilibres thermodynamiques et des calculs de transferts thermiques. Pour la boucle de synthèse la simulation du réacteur de synthèse et des compresseurs sont les points les plus importants. Pour la recherche de l'optimum de fonctionnement, ces modèles comportent plus d'une dizaine de variables indépendantes dont les principales sont :

- le débit de vapeur d'alimentation
- le débit d'hydrocarbure d'alimentation
- le débit de combustible du four primaire
- le débit d'air
- le taux de recyclage dans la boucle de synthèse
- le taux de purges d'inertes.

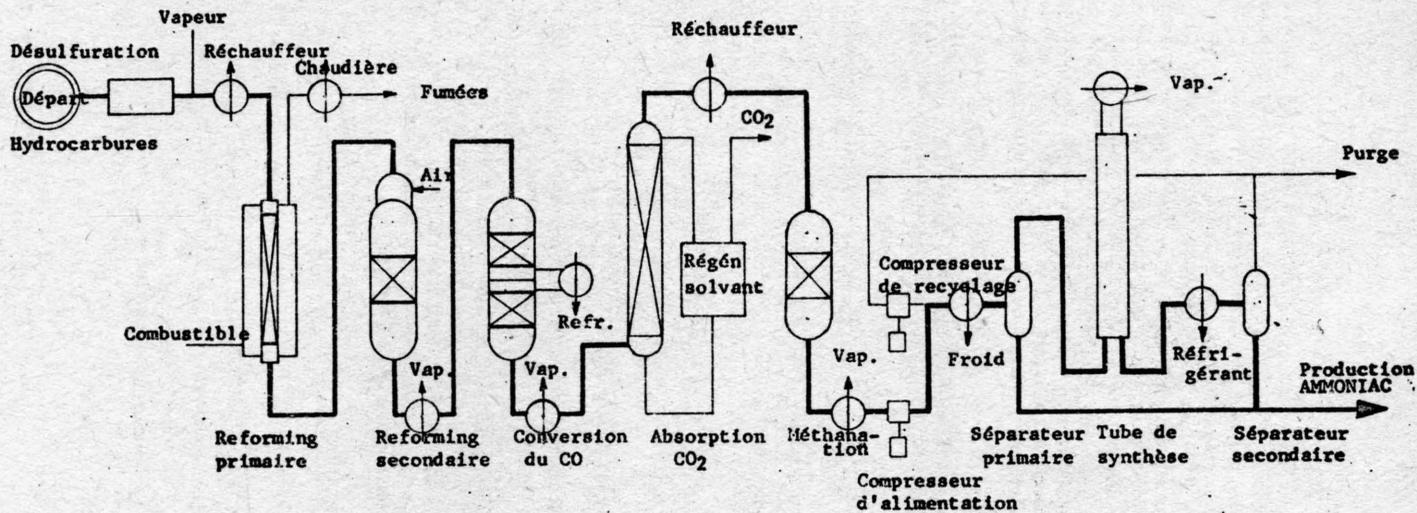


FIGURE N° 8 - Schéma de procédé pour la fabrication d'ammoniac.

Prix de l'installation sans calculateur	99 MF
Prix du système de conduite numérique	3 MF
Prix de revient hors amortissement (sans calculateur)	133 F/t
Prix de vente de l'ammoniac produit	300 F/t
Temps de remboursement sans calculateur	2.8 ans
Temps de remboursement avec calculateur	2.0 ans

FIGURE N° 9 - Principales données économiques pour la justification d'un calculateur pour une unité de production d'ammoniac 1000 t/J.



Pour ce type de problème la recherche du maximum par une méthode de gradient semble la mieux indiquée.

La justification économique de la conduite par ordinateur des unités d'ammoniac a fait l'objet de nombreuses études. Elles font apparaître un gain global de 3 à 4 % sur le rendement matériel réparti par moitié sur le meilleur contrôle de la purge d'inerte et sur le réglage plus stable du rapport H_2/N_2 . L'économie de combustible pour le four primaire peut atteindre 3 %. Enfin le fonctionnement plus régulier des compresseurs permet une économie d'énergie et une réduction du nombre des pannes.

La valeur de ces améliorations⁽⁹⁾ pour une unité de 1000 t/jour atteint environ 1 MF/an, soit le tiers environ du surplus d'investissement nécessaire pour l'équipement de l'unité avec un système de conduite par ordinateur. Une autre façon d'évaluer l'intérêt de l'équipement d'une unité de production d'ammoniac par un ordinateur est de calculer le temps de remboursement d'un atelier de 1000 t/jour. Avec des valeurs raisonnables⁽¹⁰⁾ (figure n° 9) on démontre la rentabilité d'un tel investissement pour les unités de 1000 t/Jour à condition que leur taux d'utilisation soit supérieur à 90 %.

La meilleure connaissance du procédé, l'amélioration de la durée de vie des catalyseurs et la sécurité des matériels sont difficiles à chiffrer mais correspondent à un supplément sans doute important au bénéfice de l'installation d'un système numérique.

POLYMERISATION

De nombreux polymères sont encore préparés par opérations successives et en particulier le poly (chlorure de vinyle) est obtenu dans des autoclaves agités de quelques dizaines de mètres cubes. Un atelier de fabrication peut comporter jusqu'à une centaine de réacteurs⁽¹¹⁾ et atteindre une capacité d'environ 100.000 t/an représentant un chiffre d'affaires proche de 150 MF.

Une opération de polymérisation comprend les phases suivantes⁽¹²⁾ :

- chargement dans l'autoclave des divers ingrédients de polymérisation.
- chauffage pour amener la température intérieure de l'autoclave à la température de réaction suivant un programme fixé.
- polymérisation selon un programme fixé sur la température ou la pression de marche.
- dégazage du monomère non polymérisé.
- refroidissement et vidange.

Les objectifs de l'équipement numérique de tels ateliers sont relatifs à :

- une automatisation des opérations discontinues de chargement, de montée en température, de dégazage de refroidissement et de vidange qui permet une réduction notable du personnel de conduite.
- une régulation précise du cycle de polymérisation pour obtenir une qualité reproductible des produits fabriqués.

Au cours de ces études il a été montré comme l'indique la figure n° 10 qu'un système numérique était plus économique qu'un équipement traditionnel pour des ateliers de production comportant plus de 25 réacteurs. Si pour des raisons de sécurité l'installation de 2 calculateurs est préférée il faut des ateliers de plus de 50 réacteurs pour que cette solution soit moins chère que la solution classique.

En plus d'une réduction d'investissement, l'automatisation permet une diminution de personnel de plus de 10 conducteurs d'appareils, une diminution des produits déclassés et une légère augmentation de la capacité des ateliers. Cependant si pour une installation à construire l'achat d'un calculateur numérique s'impose, la modernisation d'un atelier ancien peut être discutable.

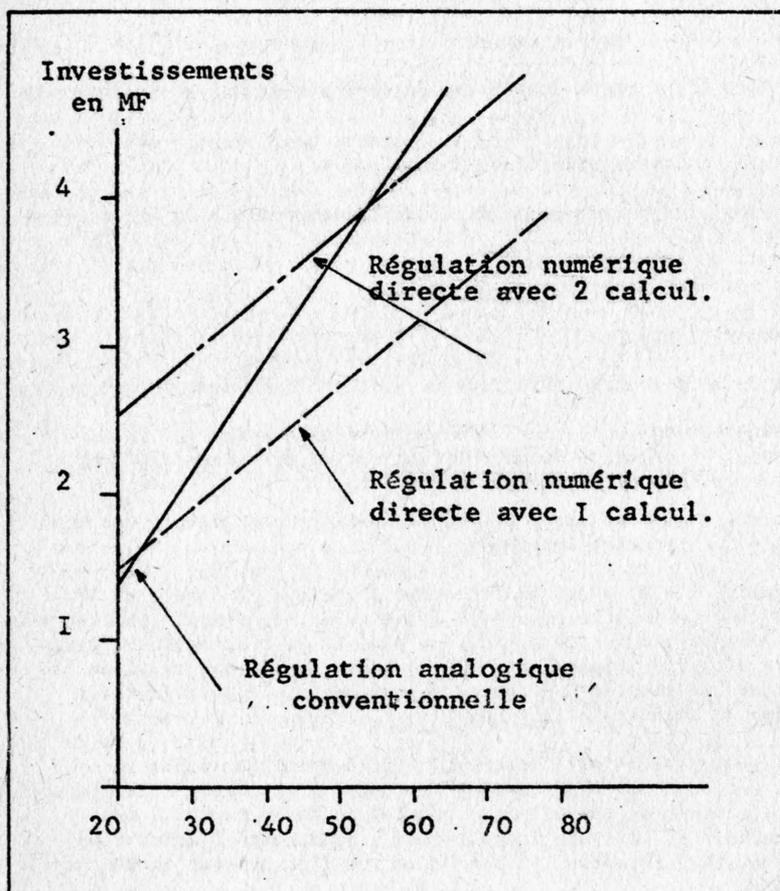


FIGURE N° 10 - Comparaison des coûts des installations de régulation de PVC.

CHROMATOGRAPHES

Les chromatographes en phase gazeuse permettent d'effectuer rapidement des analyses de mélanges très divers. Leur fonctionnement est discontinu et repose sur la séparation des différentes espèces moléculaires contenues dans un faible échantillon. La séparation s'effectue selon leur sorption relative le long d'une colonne contenant une substance fixe (la paroi de la colonne seule est quelquefois suffisante). La détection du fractionnement obtenu conduit à un signal de sortie comportant les pics caractéristiques de chaque constituant (figure n° II). La concentration de chaque espèce chimique s'en déduit par une relation du type :

$$C_i = k_i A_i / (\sum k_i A_i)$$

C_i concentration du corps i

k_i constante expérimentale relative au corps i

A_i aire du pic caractéristique du corps i

Un chromatogramme courant rassemble entre dix et vingt pics utilisables, mais souvent des difficultés expérimentales perturbent les séparations réalisées. Les déformations les plus fréquentes sont provoquées par la dérive de la ligne de base et par l'enchevêtrement de pics successifs (figure I2). La relation idéale pour calculer la composition de l'échantillon doit être modifiée par des corrections semi-empiriques. Le dépouillement par ordinateur des chromatogrammes permet d'automatiser ces calculs qui peuvent demander entre 30 minutes et une heure par analyse.

Il dispense de la présence continue d'un opérateur devant chaque enregistreur de sortie et évite des erreurs nombreuses lors des changements de sensibilité nécessaires pour obtenir une bonne précision dans le planimétrage des enregistrements.

Les méthodes de calcul diffèrent selon les constructeurs et la rentabilité d'un équipement numérique est justifiée à partir d'un réseau de 10 analyseurs⁽¹³⁾ fonctionnant au moins 8 heures par jour. Dans les laboratoires équipés de calculateur, le dépouillement d'autres appareils notamment des spectrographes de masse et des analyseurs à rayons X bénéficient de ce moyen de calcul.

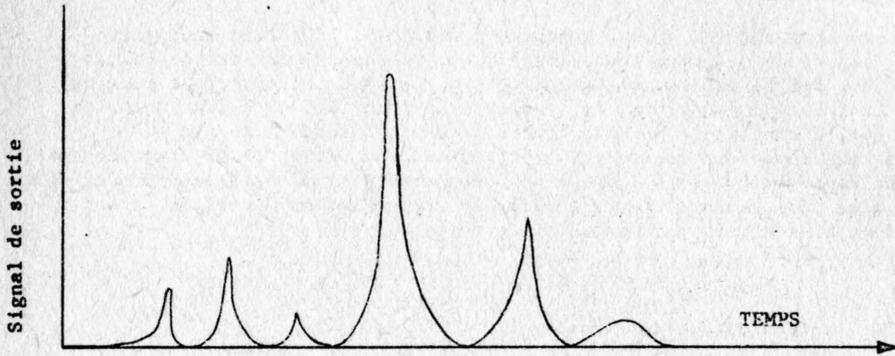


FIGURE II - Signal de sortie d'un chromatographe idéal.

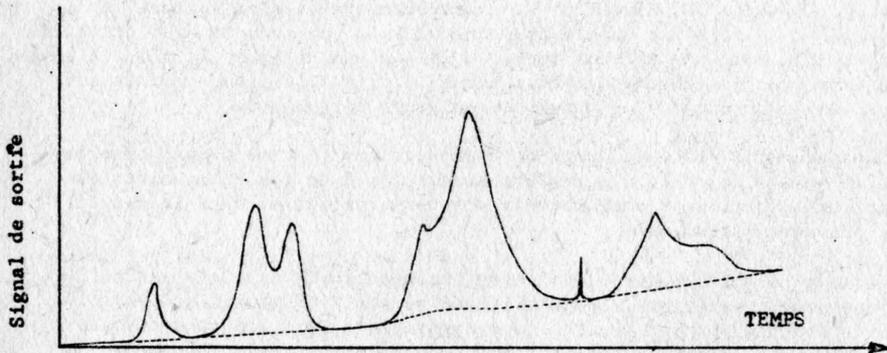


FIGURE I2 - Signal de sortie d'un chromatographe réel.

CONCLUSIONS

Au début de cet exposé, quatre facteurs limitatifs pour le développement de la conduite par calculateur numérique avaient été relevés et c'est les tendances actuelles dans ces directions qui permettent d'envisager l'évolution dans les années à venir.

Prix des installations

Les différents éléments entrant dans le prix d'une installation de conduite numérique peuvent être évalués de la façon suivante :

- calculateur et matériel périphérique	25 à 50 %
- capteurs et connexions diverses	30 à 45 %
- études et programmation	20 à 40 %

Bien qu'il y ait encore beaucoup de controverses au sujet des caractéristiques souhaitables pour les calculateurs industriels, on constate, d'une manière générale, une augmentation sensible des performances demandées pour des appareils de taille mémoire semblable aussi bien sur la vitesse de calcul, le nombre d'instructions programmées, le nombre de niveaux d'interruption, le système de sécurité... Sur le plan économique ces améliorations absorbent les gains réalisés par l'utilisation de circuits transistorisés et maintenant par l'emploi de circuits intégrés. Pour le matériel périphérique : multiplexeurs, convertisseurs A/N et N/A, machines à écrire, ... la tendance est également à la stabilité des prix mais il est logique de prévoir une baisse du coût de ces matériels. Le prix relativement important des capteurs et des lignes de transmission est un point important sur lequel il faut insister car peu d'études sont entreprises sur cette question. En particulier des économies non négligeables peuvent être réalisées par une implantation centrale de la salle de conduite et par un groupage des appareils du procédé lors de sa conception.

La programmation du système de conduite automatique se prête particulièrement bien à la standardisation et la mise au point de programmes de base pour la scrutation, le traitement des alarmes, le calcul des actions de commande, les procédures de sécurité, ... doit permettre une économie de 50 à 90 % du temps nécessaire pour ces études. La répercussion sur le prix global reste faible.

Manque de personnel pour la mise en place

Malgré l'abondance des publications sur le sujet, les fabricants de systèmes numériques méconnaissent encore souvent les difficultés pratiques rencontrées dans l'industrie chimique et les utilisateurs manquent d'informations sur les possibilités offertes par les calculateurs numériques. Il faut regretter que des problèmes de secret et de propriété industrielle des systèmes de conduite soient à l'origine de nombreuses réticences et aient provoqué quelques erreurs.

La grande majorité des ingénieurs qui pratiquent ces problèmes n'ont pas eu un enseignement groupant les deux aspects : procédé et système de commande.

Actuellement il faut encourager les groupes d'universitaires qui, soit sur des unités pilotes, soit en collaboration avec des industriels donnent une telle orientation à leur enseignement sur les automatismes.

Méconnaissance de la fiabilité

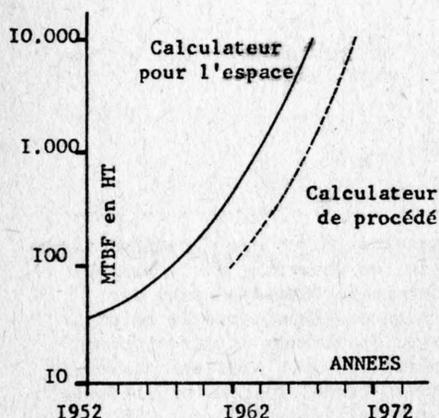


FIGURE 13 - Tendance de la fiabilité des calculateurs industriels.

La fiabilité d'un ensemble est composée de la fiabilité de chaque élément de la chaîne. Jusqu'à maintenant la durée probable entre deux pannes (MTBF = mean time between Failure) du calculateur était la plus préoccupante. Mais les appareils disponibles aujourd'hui peuvent assurer un service moyen de plus de 1000 heures et cette valeur aussi bien que la tendance déduite, selon la figure n° 13, d'une comparaison avec les calculateurs destinés à la navigation aérospatiale reportent ce problème sur les autres éléments du système. La recherche de la sécurité de fonctionnement devra donc se faire en employant des techniques d'intercontrôle et de dépannage rapide en permettant une maintenance continue, la localisation facile des pannes et une intervention rapide. L'emploi de deux calculateurs semble une solution coûteuse et une programmation soignée en vue de la sécurité semble préférable.

L'habitude

Elle révèle sa force principalement au moment des études du projet, d'une part le matériel analogique est bien connu quant à son prix et à ses performances, d'autre part le prix d'un ensemble numérique est encore variable d'un constructeur à l'autre et sa définition demande plusieurs mois d'ingénieur. Le fonctionnement des régulateurs classiques a fait de grands progrès et les exploitants lui font maintenant entièrement confiance; en général ils hésitent à encourir des risques pour des résultats que leurs concurrents n'ont pas encore atteints.

Les chercheurs et les constructeurs de matériel ne peuvent proposer qu'un matériel non standard et commencent à pouvoir montrer des installations en fonctionnement. Pour l'instant la décision ne peut venir que d'un acte de foi de la Direction Générale en fonction des moyens dont elle dispose et des résultats qu'elle espère dans une meilleure connaissance des procédés. Demain l'habitude sera autre.

REFERENCES

- | | | |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1/ Rapport COPEP | Control Engineering | |
| 2/ FARRAR G.L. | The Oil and Gas Journal | Dec 11, 1967 p.96-117 |
| 3/ ANKEL | Regelungstechnik (1968) | 16 n° 9 386-394 |
| 4/ LAPLANE | Pétrole information | 121-125 |
| 5/ WILLIAMS | | EI - E II |
| 6/ DUCANSON et Coll. | The Oil and Gas Journal | Juin 17, 1968, p. 74-80 |
| 7/ WHERRY et Coll. | Chem. Eng. Progr. (1968) | 64 n° 4 33-38 |
| 8/ COULON et Coll | 4ème congrès IFAC | à paraître |
| 9/ LAPLANE | Interkama | Octobre 1965 |
| 10/ LEVASSEUR | Chimie et Industrie (1968) | 99 n° 10 1535-43 |
| 11/ AMREHN | Dechema monographien | Band 61 |
| 12/ DOMERGUE | Interkama | Octobre 1968 |
| 13/ MAGLEBY | | H 110 - H 114 |
| 14/ KOLOZSVARI | Chimie et industrie | à paraître |

