

République du Senegal

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT GENIE ELECTROMECHANIQUE

Gm. 07/92

PROJET DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

**TITRE: Système d'acquisition et de traitement de
Données, Application au four Sécheur de
C.S.P. TAIBA**

Auteur : MOR NDIAYE
Directeur : Igor SABATIN EPT
Co-directeur: SERIGNE THIAM CSPT

Juillet 1992

A la mémoire de ma regrettée Mère,

A mon Père,

A tous mes amis.

REMERCIEMENTS

Qu'il nous soit permis de remercier M^r Igor Sabatin, notre directeur de projet pour sa disponibilité constante durant toute l'année.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit des cadres de la Division Electromécanique de la C.S.P.Taïba, avec à sa tête M^r Sily Faye pour avoir accepté cette collaboration, ainsi que M^r Sérigne Thiam et toute la Division Electromécanique pour tout le concours qu'ils nous ont apporté lors des relevés de données.

Nous remercions enfin tous ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

SOMMAIRE

L'étude que nous allons mener en relation avec la division électromécanique de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba, (C.S.P Taïba) porte sur le four sécheur. Il s'agit plus précisément d'une étude de corrélation entre les différents paramètres que nous allons mesurer, en vue de déterminer les paramètres les plus influents du four.

Nous présentons en premier lieu le matériel qui constitue le système d'acquisition de données (S.A.D), principal outil pour le relevé des données sur le site.

En suite, on procédera à la présentation de la méthode: "régression et corrélation linéaires", utilisée pour l'analyse des données recueillies.

L'analyse des résultats obtenus, les commentaires et recommandations termineront cette étude.

TABLE DES MATIERES

DESCRIPTION	PAGE
Page titre	
Remerciements.....	ii
Sommaire.....	iii
Introduction.....	1
<u>CHAPITRE I</u> LE SYSTEME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNEES INDUSTRIELLES	
1 - Définition et application.....	3
2 - Prospection du marché.....	4
<u>CHAPITRE II</u> L'ACQUISITION DES DONNEES DE MESURES INDUSTRIELLES	
1 - Le process: le four sécheur de taïba.....	6
2 - Le hardware - matériel.....	7
3 - Le software - Contrôle_EG.....	13
4 - Bloc diagramme d'un S.A.D.....	18
<u>CHAPITRE III</u> RELEVÉ DES DONNEES	
1 - Les mesures.....	19
2 - Schéma de montage.....	21
<u>CHAPITRE IV</u> LE TRAITEMENT DES DONNEES	
1 - Présentation de la méthode.....	22
2 - Traitement préliminaire.....	27
3 - Présentation des résultats.....	33
4 - Commentaires.....	44
<u>CHAPITRE V</u> CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	
BIBLIOGRAPHIE.....	52
ANNEXES.....	54

LISTE DES ANNEXES

Annexe A

Plan : Synoptique du four sécheur

Annexe B

Disquette de données

LISTE DES TABLEAUX RECAPITULATIFS

- Tableau 1 : Valeurs moyennes de cinq échantillons de mesures
- Tableau 2 : Coefficients de détermination simple
- Tableau 3 : Coefficients de corrélation simple
- Tableau 4,6: Coefficients de détermination entre trois variables
- Tableau 5,7: Coefficients de corrélation entre trois variables
- Tableau 8 : Coefficients de détermination multiple
- Tableau 9 : Coefficients de corrélation multiple

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Differential ended input, entrée tension différentielle
- Figure 2 : Single ended Input, entrée tension simple
- Figure 3 : Schéma minimal d'une carte analogique d'acquisition de données
- Figure 4 : Architecture de la carte CIO AD08
- Figure 5 : Commutateurs d'adresse de base de la carte
- Figure 6 : Commutateurs de sélection du calibre de tension
- Figure 7 : Affichage historique
- Figure 8 : Affichage graphes XY
- Figure 9 : Affichage histogrammes
- Figure 10 : Affichage annonceurs
- Figure 11 : Affichage textes
- Figure 12 : Affichage séquenceurs
- Figure 13 : Bloc diagramme d'un système d'acquisition de données
- Figure 14 : Schéma de montage du système d'acquisition de données
- Figure 15 : Distribution humidité entrée
- Figure 16 : Distribution humidité sortie
- Figure 17 : Distribution débit fuel
- Figure 18 : Distribution débit entrée phosphate
- Figure 19 : Distribution débit sortie phosphate
- Figure 20 : Distribution dépression buse
- Figure 21 : Distribution température buse

ABREVIATIONS

- C.S : Consommation spécifique
D.E.PH : Débit entrée phosphate
DEP.B : Dépression buse
D.F : Débit fuel
D.S.PH : Débit sortie phosphate
H.E : Humidité entrée
H.S : Humidité sortie
M.E.S : Masse d'eau séchée
TP.B : Température buse
S.A.D : Système d'acquisition de données

INTRODUCTION

Depuis la révolution industrielle, le contrôle et l'exploitation efficaces et efficients des outils de production constituent la première préoccupation des exploitants de l'industrie.

La bataille menée pour disposer de toutes les informations utiles afin de pouvoir agir et mieux maîtriser le process s'inscrit dans ce cadre. Quand on sait que la consommation d'énergie, quelque soit sa forme, dépend des paramètres d'exploitation, tout effort visant à maîtriser ces données doit être soutenu et encouragé. Car, aujourd'hui, la réduction de la consommation en énergie constitue le nerf de la guerre pour toute entreprise qui se veut compétitive. Mieux encore elle est le souci permanent des dirigeants du monde entier et surtout ceux des pays en voie de développement que nous sommes. Cette étude s'inscrit à juste titre dans ce cadre.

Le four sécheur de la C.S.P Taïba est le dernier élément de la chaîne de production du phosphate. L'opération qui s'y réalise consiste à chauffer le minerai pour diminuer sa teneur en humidité. Cette opération est nécessaire pour respecter l'un des plus importants critères de qualité du minerai marchand, exigé par les acheteurs: la teneur en humidité.

Optimiser la marche du four revient à optimiser la consommation en fuel qui occupe une partie importante dans la consommation totale d'énergie au niveau du four, tout en respectant la teneur en eau admissible à la sortie.

CAHIER DE CHARGES

Suite aux mesures effectuées sur le four sécheur, veuillez noter les différentes corrélations et commentaires demandés.

- 1 Température buse - débit fuel
- 2 Dépression buse - humidité sortie
- 3 Humidité entrée - humidité sortie
- 4 Tonne d'eau à sécher - débit fuel
- 5 Débit entrée - débit sortie
- 6 Humidité sortie - débit fuel
- 7 Humidité entrée - débit fuel
- 8 Influence des variations de débit et d'humidité entrée sur humidité sortie.
- 9 Et tout autre commentaire que vous jugez nécessaire.

CHAPITRE I LE SYSTEME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNEES INDUSTRIELLES

1 - Définition et Application

Le système d'acquisition des données (S.A.D) est un ensemble d'éléments matériel et logiciel destiné à recueillir des données physiques par l'intermédiaire de capteurs, à les stocker, afficher ou imprimer. Ces données peuvent être traitées pour le contrôle et la conduite de process à temps réel. Le Stockage, outre le traitement différé qu'il permet, constitue un bon moyen pour suivre les tendances du process dans le temps.

1 - 1 - Constitution

- Capteurs (transducteurs) : installés dans les équipements à surveiller, ils mesurent continuellement les paramètres physiques (Pression ,débit, température etc .)

- Carte d'acquisition de données : ensemble de circuits électroniques ou interface d'entrée/sortie, destiné à traiter l'information venant des capteurs: échantillonnage, digitalisation, etc.

- Micro-ordinateur et logiciels professionnels (Labtec, Notebook, etc) : gèrent le système et traitent les données selon un programme statistique (SPSS) ou élaboré ad-hoc par ou pour l'utilisateur

1 - 2 - Fonctions

- Indiquer à temps réel ou en différé les résultats de mesures concernant un équipement, une chaîne de production, etc,

- Créer une banque de données (historique) sur l'évolution des

paramètres surveillés d'un process,

- Surveiller, contrôler, conduire un process,
- Exécuter continuellement et automatiquement les calculs demandés, déterminer les corrélations entre les différents paramètres qui influencent le process,
- Déterminer expérimentalement le modèle mathématique du process surveillé,
- Présenter les résultats sous forme graphique ou de rapports, sur écran ou sur papier.

1 - 3 - Applications

- Entretien préventif, essai et diagnostic assistés par ordinateur du matériel technologique,
- Surveillance et conduite assistées par ordinateur d'un process ou équipement complexe,
- Formation du personnel d'exploitation,
- Simulation sur ordinateur des différents régimes ou situations d'avaries dont l'essai direct sur l'équipement peut être dangereux ou destructif,
- Analyses expérimentales du degré d'influence de différents facteurs qui déterminent les performances des équipements industriels

2 - Prospection du milieu industriel

Sans doute l'importance des multiples tâches accomplies par les Systèmes d'Acquisition de Données explique l'intérêt qu'ont manifesté les différents responsables de production et d'entretien des sociétés que nous avons visitées: SNCFS, (Société Nationale des

chemins de Fer du Sénégal),

SSPT, (Société Sénégalaise des Phosphates de Thiés), SENELEC, (Société Nationale d'Electricité), CSPT (Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba).

La raison de ces visites était de s'assurer que ce sujet portait un intérêt certain auprès des entreprises et en même temps d'en trouver une qui remplit les conditions minimum pour la réalisation d'une station pilote. Le constat est que, un système de collecte et de traitement de données assisté par ordinateur, s'il n'est pas totalement absent, n'existe qu'à l'état de projet. Cependant ils sont tous convaincus que la maîtrise des process et de certains équipements complexes passe nécessairement par celle des grandeurs physiques présentes en input et en output.

CHAPITRE II L'ACQUISITION DES DONNEES DE MESURES INDUSTRIELLES

1 - Le Process: le four sécheur de Taïba

Le point de départ de tout Système d'Aquisition de Données est le process dont on veut mesurer les paramètres. Ces mesures, transmises à travers les capteurs et transmetteurs, arrivent au niveau du système pour traitement et stockage. Il est donc important de bien connaître le process.

Le four sécheur de Taïba est un élément de la chaîne de production du phosphate dont la fonction principale est d'abaisser le taux d'humidité du minerai. L'humidité passe d'environ 10 à 12% à l'entrée à moins de 2% à la sortie. Cette opération est nécessaire pour garantir une certaine qualité du minerai exigée par les clients. Cette diminution de l'humidité est réalisée par chauffage. Le minerai arrive dans la buse où règnent une certaine température provenant du foyer de combustion et une dépression, passe dans le tube sécheur et sort avec une humidité inférieure à 2% . L'énergie nécessaire pour maintenir la buse à cette température provient de la combustion de fuel alimentant le foyer de combustion. La consommation en fuel dépend essentiellement des caractéristiques du minerai à l'entrée et à la sortie (humidité entrée sortie, débit entrée sortie par exemple) et de l'ambiance qui règne au sein du four (température buse, sortie cheminée, sortie type sécheur, dépression buse, etc).

L'optimisation de la consommation en fuel, tout en maintenant un degré d'humidité acceptable à la sortie, passe par une maîtrise des paramètres les plus influents du process. L'acquisition et le

traitement des données permettront de déterminer ces paramètres sur lesquels une attention particulière devrait être portée.

2 - Le Hardware (matériel)

2 - 1 - Les capteurs

Ils relient la carte d'acquisition au process.

Leur sortie est soit en tension, soit en courant. Certaines cartes ont des entrées courant et tension. Pour celles qui n'ont que des entrées tension, il sera nécessaire de shunter les sorties courant des capteurs avec des résistances adéquates pour respecter la tension d'entrée de la carte.

Les capteurs que nous avons utilisés ont des sorties normalisées 4 - 20mA alors que la carte a des entrées tension calibrées à (+5V -5V), (+10V -10V), (0V +10V), d'où la nécessité d'utiliser des résistances de 250Ω à la sortie de chaque capteur. Il faut veiller à ce que cette résistance ne pose pas un problème de charge aux capteurs. Nous avons choisi le calibre (+5V -5V)

$$0,020 R = 5 \Rightarrow R = 5 / 0,020 = 250\Omega \quad (1)$$

Si le capteur ne dispose pas d'un conditionneur de signal intégré, celui-ci sera placé dans la carte pour que le signal puisse être normalement reçu.

2 - 2 - La carte : CIO AD08

C'est l'élément moteur du système d'acquisition de données. Elle contient les circuits électroniques qui permettent de lire, d'enregistrer, de visualiser sous forme de courbes, d'histogrammes ou de texte les données du process. De sa puissance, dépend la

rapidité d'exploitation des résultats: elle permet non seulement d'enregistrer les données du process, mais au besoin de générer les signaux nécessaires à la conduite de celui-ci.

En général, il existe deux types de cartes d'acquisition classés suivant leur mode de connexion : les "single ended inputs" et les "differential ended inputs".

Leur différence est importante et mérite une attention particulière. "Le single ended" reçoit un fil de connexion provenant de la borne "haut" de chaque canal, leur masse étant reliée ensemble avec celle de la carte sur une seule borne. Le "Differential ended" a trois fils de connexion: l'un provenant du niveau haut du capteur, l'autre du niveau bas, et une troisième connexion qui relie toutes les terres des capteurs à celle de la carte en une seule borne. Cette différence fait qu'un "differential ended" est insensible jusqu'à un certain niveau aux différences de potentiel entre la terre de la carte et celle des capteurs. Les tensions parasites créées par les bruits et les champs magnétiques présents dans les circuits n'ont pratiquement pas d'effet sur les mesures effectuées par ce dernier, elles sont évacuées par la résistance de terre. Le "single ended" quant à lui est sensible à ces tensions parasites dès qu'elles dépassent les centaines de millivolts. C'est pourquoi, pour une carte de ce type, il faut veiller à ce que la différence de potentiel entre la terre des capteurs et celle de la carte ne dépasse pas la tension spécifiée par le constructeur.

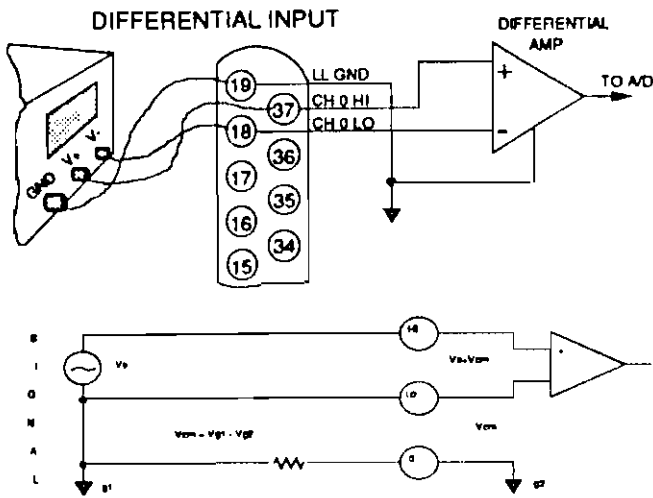


figure 1

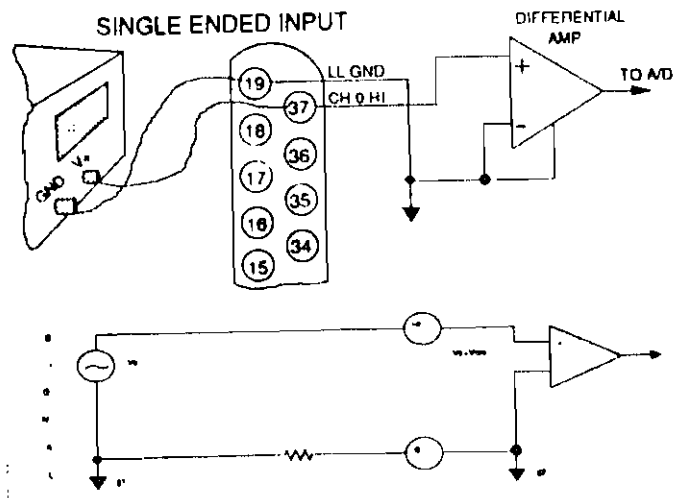


figure 2

La carte CIO AD08 est un "single ended".

Schéma minimal d'une carte analogique d'acquisition de données

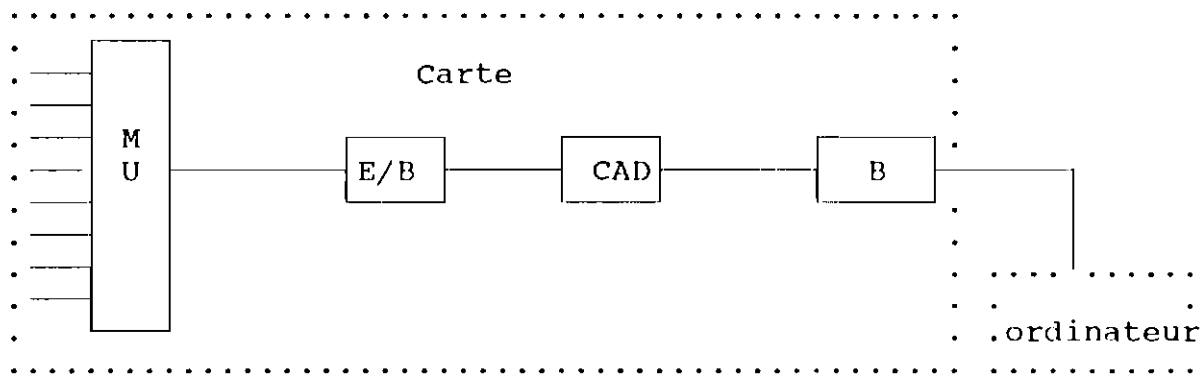


figure 3

MU multiplexeur: Les signaux qui viennent des capteurs ne peuvent pas tous être traités en même temps. Le multiplexeur permet de sélectionner un seul canal à la fois du système. A chaque coup d'horloge d'échantillonnage, le multiplexeur accomplit un tour complet de tous les canaux. Ce temps de balayage est très important parce qu'il limite la fréquence d'échantillonnage du système.

S/H ou E/B : échantillonneur bloqueur, Il maintient la valeur

mesurée constante pendant la période nécessaire à la conversion Analogique/Digitale.

A/D: Convertisseur analogique / digital: procède à la numérisation du signal par différentes méthodes telles que l'approximation successive par exemple.

B: buffers (tampons): en général la carte et l'ordinateur travaillent à des fréquences différentes. Pour que les transferts de données puissent se faire adéquatement, des registres tampons sont utilisés pour stocker les données temporairement.

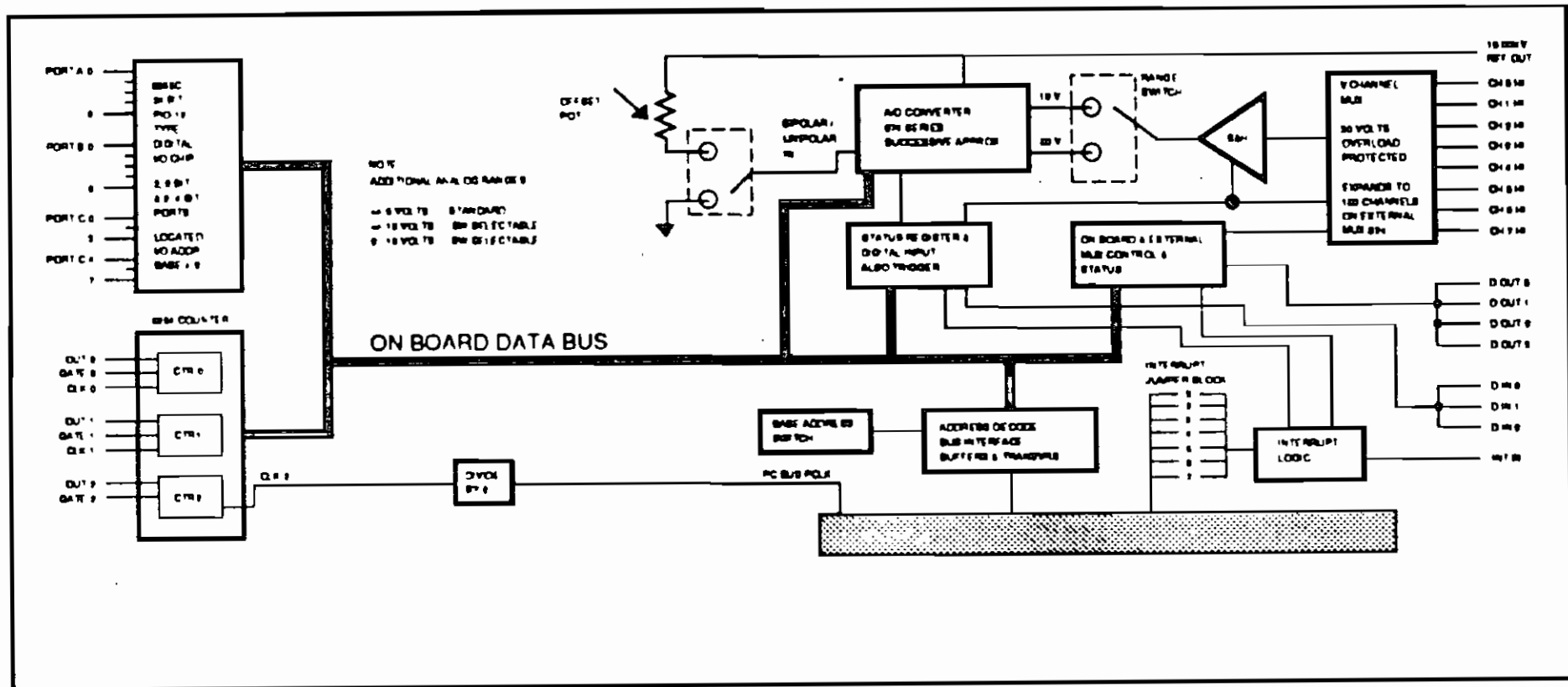
Chaque composant de la chaîne a besoin d'un minimum de temps d'opération. La somme de ces temps donne la durée totale d'échantillonnage qui limite à son tour le temps de balayage des différents canaux dont on a parlé plus haut.

La carte CIO AD08 comporte 8 entrées analogiques multiplexables 128 entrées, 3 entrées digitales.

8 CIO-AD08 ARCHITECTURE

In addition to the control and data registers, there are 7 major functional blocks on the CIO-AD08 which are explained in this manual, in order of explanation, they are:

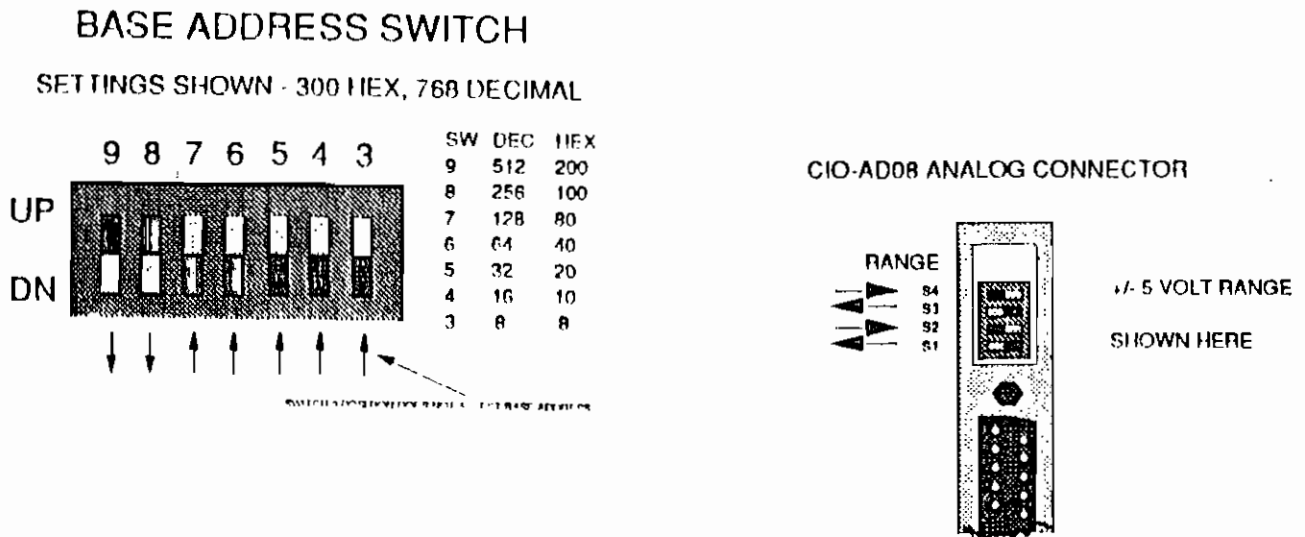
- **Control & Data Registers.** Function and format of the register.
- **Analog Input.** Signal connection, multiplexing, amplification and conversion.
- **Counter / Timer.** Basic function, board usage and external connection & control.
- **Digital Input (3 bit).** Acquisition and signal connection.
- **Digital Output (4 bit MUX control).** Control and signal connection.
- **PIO-12 Compatible I/O.** Programming and signal connection.
- **Trigger Logic.** External and on board IR trigger.
- **Interrupt Control.** Timing charts and logic.
- **PC/XT/AT Bus Interface.** Address, power consumption and data transfers.



2 - 3 - Préparation de la carte

- **Adresse de base de la carte:** Sélectionnée à l'aide de switches. La carte est vue par le microprocesseur comme un espace mémoire à partir d'une certaine adresse (300 ou 768 en hexa.). Le dialogue entre les deux se fait à partir de cette adresse. C'est pourquoi sa place dans la mémoire doit être réservée pour éviter tout conflit avec les autres périphériques (figure 5).
- **Tension d'entrée:** sélectionnée par jeu de switches

figure 5



S1	S2	S3	S4	GAIN	RANGE	RESOLUTION
L	R	L	R	1	+/- 5V	2.44mV / BIT
R	L	L	R	0.5	+/- 10	4.88mV / BIT
L	R	R	L	1	0-10V	2.44mV / BIT

Positions other than those shown will be not valid, but they will not harm the board.

figure 6

Elle aussi est sélectionnée par switches. La carte comprend trois calibres (-5V +5V) , (-10V +10V) , (0V +10V)
 Le tableau ci-dessus indique comment procéder pour choisir un

calibre. Il faut veiller à ce qu'aucune tension d'entrée ne dépasse celle du calibre choisi, au risque de détruire la carte si ceci n'est pas respecté.

- Calibrage

Il est réalisé à partir des potentiomètres qui règlent l'offset et la valeur maximale en utilisant une source de tension et un multimètre de précision.

3 - Le software: contrôle-EG

Contrôle-EG est un logiciel d'acquisition de données compatible avec beaucoup de cartes dont CIO ADO8. Il contient le programme qui donne les instructions de lecture, de stockage, de configuration du matériel, etc. Il tourne sur I B M PC, XT, AT, et compatible, accepte les cartes vidéo EGA, CGA et hercules.

3 - 1 - Caractéristiques

Il peut gérer plus de 256 canaux d'entrée/sortie analogiques et digitaux. Simple de configuration, Contrôle-EG mesure des tensions, des températures, pressions, etc; accepte des fonctions booléennes pour les entrées/sorties digitales.

Il est possible d'établir des formules pour effectuer des calculs sur les grandeurs mesurées.

3 - 2 - Applications

- Mesure de températures, de poids
- Mesure et contrôle de contraintes, vibration, force
- contrôle de niveau et de débit
- Pilotage d'installations industrielles
- Automatisation de laboratoire

- Robotique
- Simulation de systèmes automatiques
- Contrôle de four et de hauts fourneaux

3 - 3 - Menu

Contrôle-EG est facile à utiliser. Il ne nécessite aucune programmation bien que cela soit possible. Il suffit de configurer la carte installée dans le système en fonction des besoins et tout le reste s'effectue automatiquement. Toutes les options deviennent accessibles par simple touche.

3 - 4 - Entrées/Sorties analogiques et digitales

Contrôle-EG est dimensionné pour de petites et moyennes applications

- 128 entrées analogiques
- 32 sorties analogiques
- 128 entrées digitales
- 128 sorties digitales

Pour des raisons de capacité, le nombre d'Entrées/Sorties analogiques et digitales confondues ne doit pas dépasser 256 canaux.

3 - 5 - Affichage à temps réels

Contrôle-EG gère six différents types d'affichage à temps réel : historique, Graphes, texte, histogrammes, séquenceurs, annonceurs.

Les canaux peuvent être assignés en groupes pour l'affichage par groupe de canaux. Il y a 8 groupes de (A à H) où les grandeurs analogiques, digitales et calculées peuvent être assignées. Cette

organisation se fait au moment de la configuration. Tous les canaux assignés à un même groupe seront affichés en même temps.

3 - 5 - 1 - Affichage historique

Chaque canal d'Entrée/Sortie a 3 registres tampons pouvant stocker 40 mesures. Le premier contient les 40 mesures les plus récentes du canal. Le deuxième et le troisième contiennent 40 mesures de moyennes mobiles des données collectées, définies par l'utilisateur qui peut choisir lequel de ces registres tampons sera affiché. 16 courbes peuvent être affichés en même temps

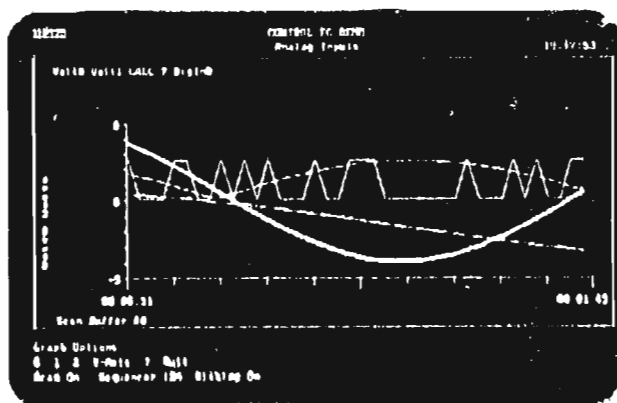


figure 7

3 - 5 - 2 - Les Graphes XY

Affichage de 15 courbes en même temps sur le plan XY

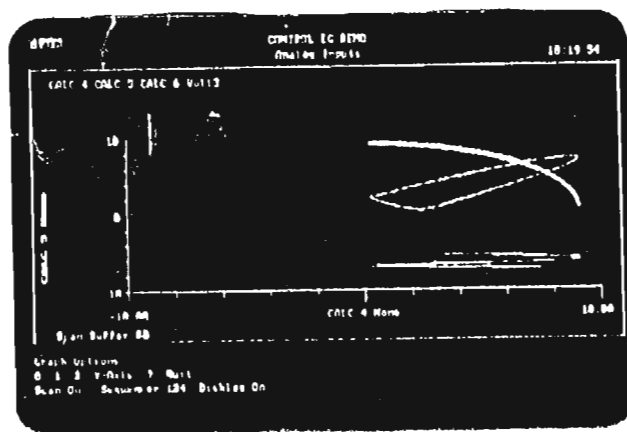


figure 8

3 - 5 - 3 - Histogrammes

L'affichage peut se faire sous forme d'histogrammes pour les mesures analogiques et sous forme d'ouverture et de fermeture de relais à contact pour les entrées digitales. On peut choisir 4, 8 ou 16 canaux par page. Les valeurs des alarmes sont mises à jour à temps réel.

Les histogrammes affichés sont ceux du groupe de canaux actif.

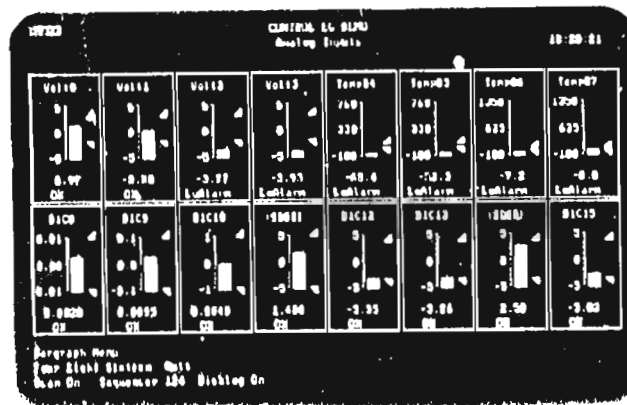


figure 9

3 - 5 - 4 - L'affichage d'annonceurs

64 canaux peuvent être affichés en même temps, pour chaque canal, le nom, la valeur à temps réel et l'état des alarmes sont affichés.

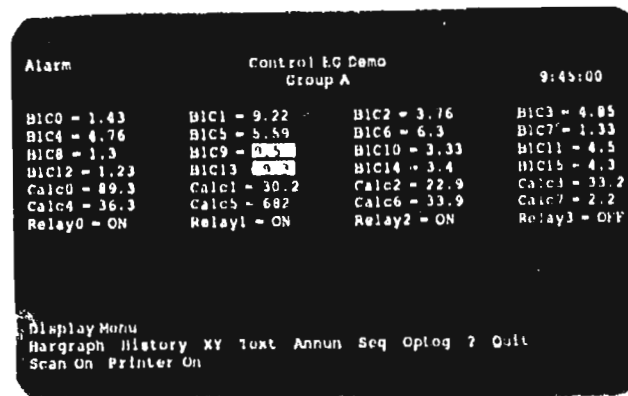


figure 10

3 - 5 - 5 - Affichage texte

On a les mêmes informations que sur les histogrammes. La seule différence est que ça soit sous forme de texte au lieu d'être sous forme graphique.

Input Channel	Tag	Current Values	Scaled Units	Low Limit	High Limit	Status	Alarm Setpnt	Output
A10	B0C0	5.04	Volts	1.0	9.0	OK		
A11	B0C1	6.34	Volts	1.0	9.0	OK		
A12	B0C2	6.84	Volts	1.0	9.0	OK		
A13	B0C3	7.29	Volts	1.0	9.0	OK		
A14	B0C4	8.22	Volts	1.0	9.0	OK		
A15	B0C5	9.90	Volts	1.0	9.0	High Alarm	8.5	1.2
A16	B0C6	8.10	Volts	1.0	9.0	OK		
A17	B0C7	6.88	Volts	1.0	9.0	OK		
A18	B0C8	1.89	Volts	1.0	9.0	OK		
A19	B0C9	2.03	Volts	1.0	9.0	OK		
A110	B0C10	3.23	Volts	1.0	9.0	OK		
A111	B0C11	4.47	Volts	1.0	9.0	OK		
A112	B0C12	0.93	Volts	1.0	9.0	Low Alarm		
A113	B0C13	1.22	Volts	1.0	9.0	OK		
A114	B0C14	5.99	Volts	1.0	9.0	OK		
A115	B0C15	9.34	Volts	1.0	9.0	High Alarm		

Display Menu
BarGraph History XY Text Annun Seq OpLog ? Quit
Scan On Printer On

figure 11

3 - 5 - 6 - Affichage des séquenceurs

L'affichage des séquenceurs montre l'état des 8 différentes séquences. Le numéro d'étape de la séquence courante, la commande associée et l'état de chaque séquence sont affichés.

Seq #	Status	Step	Action	Comment
0	On	3	Set(D01,1)	Turn On Pump01
1	On	21	Ramp(A01,0.12,3.4)	Ramp temperature
2	On	13	Disk On(10,disklog.prn,1)	Turn on disklog
3	Done	31		
4	Off	0		
5	Off	0		
6	Off	0		
7	Off	0		

Display Menu
BarGraph History XY Text Annun Seq OpLog ? Quit
Scan On Printer On

figure 12

3 - 6 - Configuration du système

Avec Contôle-EG la première opération à faire est de configurer le système. Les tables de configuration sont accessibles à partir du menu principal. On peut y avoir accès même si le système est en train de collecter des données.

Hardware: Définit le matériel sur le système courant (les cartes)

Input : Définit les entrées analogiques et digitales.

Output : Définit les sorties analogiques et digitales.

Calculation: Définit les équations des points à calculer ou une boucle proportionnelle intégrale dérivée (PID).

Alarme : Définit les limites des alarmes et messages pour les mesures analogiques et calculées.

Séquenceur : Créer différentes séquences pour le contrôle de tout le process.

Graphe : Définit quelles entrées et sorties sont affichées, l'échelle pour l'affichage à temps réel.

Runtime : Définit les périodes de lecture, d'affichage, de sauvegarde ou d'impression des paramètres.

4 - Bloc diagramme d'un S.A.D

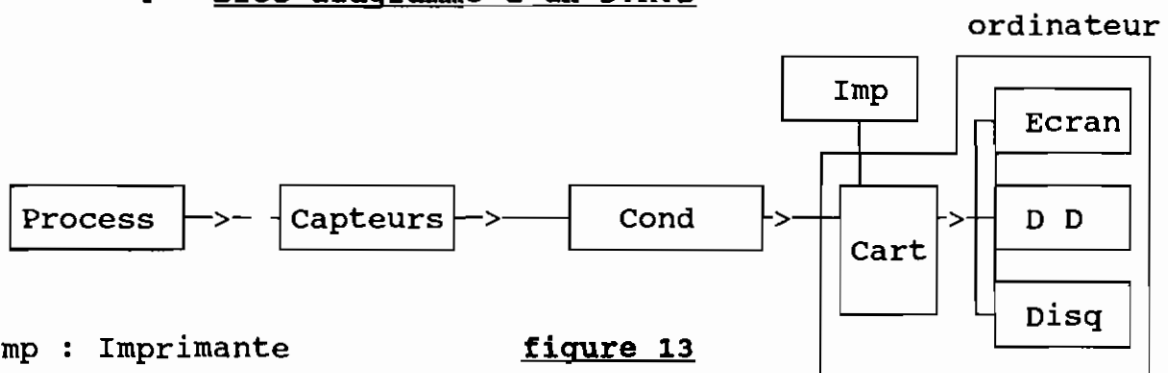


figure 13

Imp : Imprimante

Cond: Conditonneur de signal

Cart: Carte d'acquisition

D D : Disque Dur

Disq: Disquette

CHAPITRE III RELEVÉ DES DONNÉES

1 - Les mesures

Sept données du four sont mesurées par le système:

- Humidité: Deux humidités sont mesurées, l'humidité entrée et sortie du minerai par un humidimètre quadra beam 6000 donnant un signal de sortie normalisé 4 - 20mA,
- Débits: 1 débit fuel, 2 débits massiques de phosphate à l'entrée et à la sortie par un capteur de débit et deux bascules, signaux de sortie 4 - 20mA 0 - 20mA,
- Température: une mesure de température à l'aide d'un thermocouple de type K et d'un transmetteur qui délivre lui aussi du 4-20mA (mesure à la buse),
- Pression: une mesure de dépression au niveau de la buse.

Il faut noter que tous ces capteurs délivrent du 4-20mA à leur sortie, alors que la carte a des entrées tension. Les résistances shunt de 250 Ω donnent une tension qui varie entre 1 et 5V compatible avec le calibre 0 - 5V de la carte sans engendrer un problème de charge qui entraverait le fonctionnement normal des capteurs. Une fois le problème des tensions d'entrée résolu, nous nous sommes rendus compte que, afficher les mesures en valeur de tension comprise entre 1 et 5V n'était pas explicite et pourrait rendre difficile le traitement et les interprétations. C'est pourquoi un programme créé à cet effet nous a permis, avec l'introduction des formules ci-dessous d'avoir les résultats en valeur réelle des grandeurs mesurées.

Les formules sont établies à partir des valeurs minimales et

maximales des paramètres et des tensions extrêmes correspondantes.

1	2	3	4	5	6	7
humidité entrée	Humidité sortie	Débit fuel	Débit ent phosphate	Débit sort phosphate	dépr buse	temp buse
1-5V 0-20%	1-5V 0-2%	1-5V 0-2000l/h	1-5V 0-300T/H	0-5V 0-360T/H	1-5V -50+50 mm CE	1-5V 0-1200C
5x-5	.5x-.5	500x-500	75x-75	360x/5	25x-75	300x-300

2 - Schéma de montage

Process: Four Sécheur

bornier

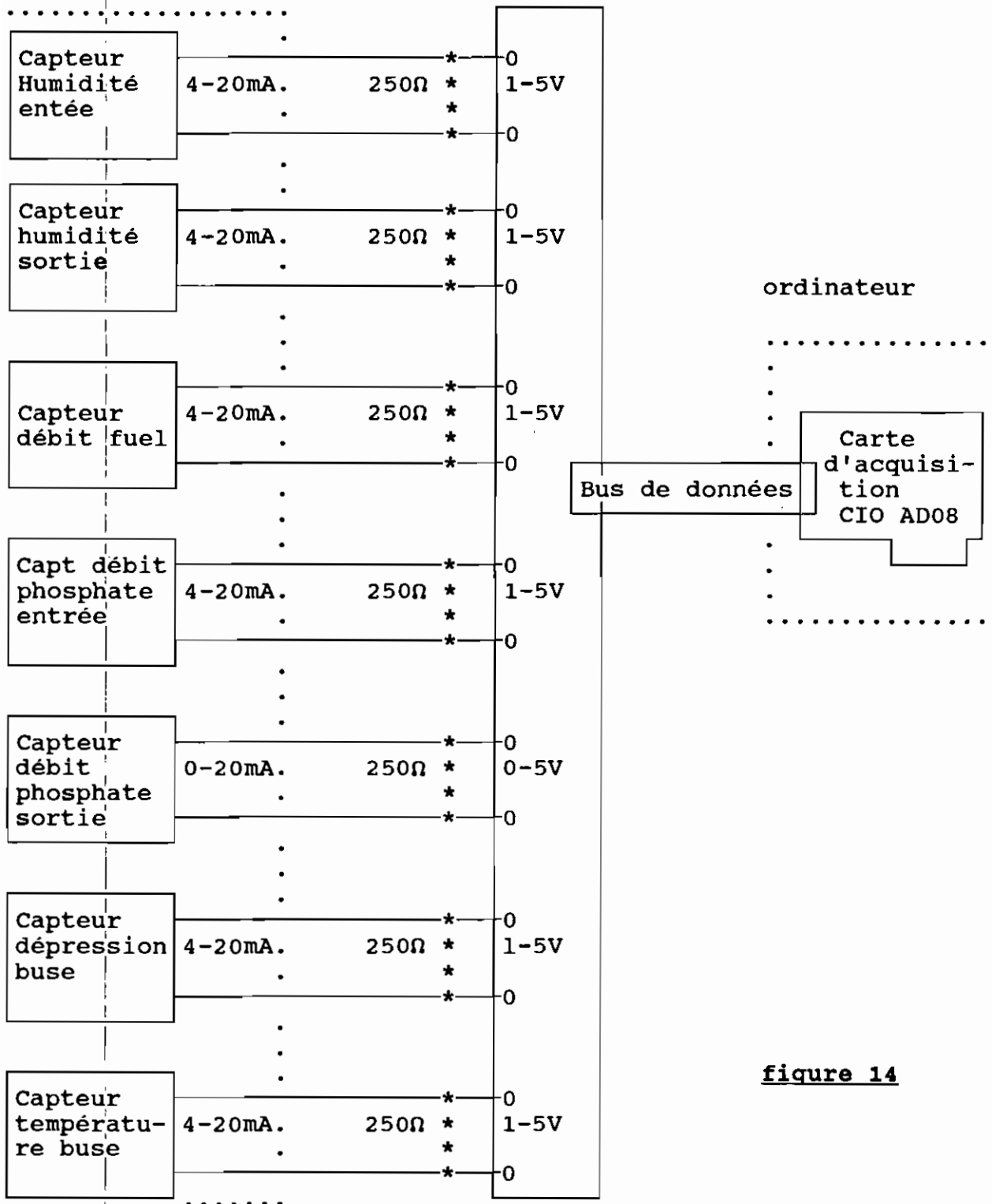


figure 14

CHAPITRE IV LE TRAITEMENT DES DONNEES

1 - Présentation de la méthode

Après l'acquisition et le stockage des données industrielles, vient une étape tout aussi importante sinon plus: l'exploitation des données. La collecte des données ne trouve sa justification et son importance que dans l'utilisation qu'on en fait pour améliorer le process, tant en rendement qu'en sécurité.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse de mesures industrielles. Le choix d'une méthode plutôt qu'une autre se justifie par l'objectif qu'on se fixe, c'est à dire par ce que nous voulons obtenir après l'analyse, et aussi par la nature même des données. Certaines analyses permettent de résumer toute l'information disponible afin de dégager des structures interprétables, ou mettent en évidence dans la population de données étudiées l'existence de plusieurs groupes homogènes aussi différents les uns des autres. Parmi ces méthodes, on peut citer "l'analyse des composantes principales".

D'autres méthodes vont plus loin. Elles cherchent à établir des relations de causes à effets entre les variables, et expliquent certaines d'entre elles par d'autres. Ce sont les méthodes d'analyses multivariées - car, il faut dire qu'ici nous dépassons le stade univarié où l'on tente d'expliquer une variable par une autre, parce qu'un process industriel fait intervenir généralement plus de deux variables- telles que l'analyse discriminante, l'analyse de régression, par exemple. La dernière est la plus connue.

D'après le cahier de charges nous avons à établir les corrélations entre les différents paramètres du four sécheur relevés. La méthode de la "régression et corrélation linéaire" reste la plus indiquée pour ce genre d'analyse.

1 - 1 - La Régression

Comme indiqué ci-dessus, la régression permet d'étudier la liaison linéaire qui peut exister entre deux ou plusieurs variables. Cette liaison peut aller de l'indépendance complète entre les variables à une liaison fonctionnelle définie par une relation mathématique. Il est certain qu'il existe des relations entre les différents paramètres d'un process. Cependant la nature et l'intensité de celles-ci sont moins évidentes. La régression linéaire simple donne des relations aussi simples et aussi représentatives que possible entre deux variables, de la forme

$$Y = b_0 + b_1X \quad \text{ou plutôt} \quad Y = \beta_0 + \beta_1X + \epsilon \quad (2)$$

où Y est la variable dépendante

X , la variable indépendante

b_1 , coefficient de régression , est un estimateur de β_1

b_0 , constante de régression, est un estimateur de β_0

ϵ , variable aléatoire prenant en compte l'existence

éventuelle d'autres influences différentes de celle de X sur Y.

Les constantes b_1 et b_0 de la droite de régression sont estimés selon la théorie des moindres carrés.

$$b_0 = Y^* - b_1X^* \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{\Sigma(Y_i - Y^*)(X_i - X^*)}{\Sigma(X_i - X^*)^2} \quad (4)$$

Y^* et X^* moyennes de l'échantillon

n : taille de l'échantillon

La régression multiple utilise la même méthode des moindres carrés pour la détermination des coefficients de corrélation.

Ainsi: $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (5)$

Pour n mesures de Y, X_1, X_2, \dots, X_k

On a: $\Sigma_i Y_i = nb_0 + b_1 \Sigma X_{1i} + b_2 \Sigma X_{2i} + \dots + b_k \Sigma X_{ki}$

$$\Sigma X_{1i} Y_i = b_0 \Sigma X_{1i} + b_1 \Sigma (X_{1i})^2 + b_2 \Sigma X_{1i} X_{2i} + \dots + b_k \Sigma X_{1i} X_{ki}$$

⋮

$$\Sigma X_{ki} Y_i = b_0 \Sigma X_{ki} + b_1 \Sigma X_{1i} X_{ki} + b_2 \Sigma X_{2i} X_{ki} + \dots + b_k \Sigma (X_k)^2$$

La résolution de ce système donne les k coefficients de l'hyperplan d'équation (5)

1 - 2 - La corrélation

Dans l'analyse de la régression, les variables indépendantes ou explicatives sont supposées fixées et l'objectif est de spécifier la fonction linéaire représentant le mieux la liaison entre les variables explicatives et la variable dépendante ou expliquée. L'objectif de l'analyse de la corrélation est d'évaluer jusqu'à quel point ces différentes variables sont reliées d'une façon linéaire, c'est-à-dire de fournir un certain indice de l'intensité

de la relation linéaire. Toutes les variables étant aléatoires. La covariance de deux variables aléatoires donne une mesure de la liaison linéaire qui existe entre celles-ci. Afin d'obtenir une mesure standardisée, on divise la covariance par le produit des écarts types, obtenant ainsi ce qu'on appelle le coefficient de corrélation linéaire simple.

$$r_{xy} = \frac{\text{Cov}(xy)}{(\text{Var}(x) \cdot \text{Var}(y))^{1/2}} = \frac{E[(X-E(X))(Y-E(Y))]}{(E[X-E(X)]^2 E[Y-E(Y)]^2)^{1/2}} \quad (6)$$

qui définit l'intensité de la relation linéaire entre X et Y.

Une partie de la variance totale de Y_i est expliquée par cette liaison. Ainsi la variance de Y_i peut être décomposée en une variance expliquée et une variance non expliquée ou résiduelle.

Dans l'analyse de la régression linéaire, on décompose Y_i en une partie associée linéairement à X_i et une autre qui lui est indépendante

$$Y_i = (b_0 + b_1 X_i) + \epsilon_i$$

Puisque X_i et ϵ_i sont linéairement indépendants,

$$\text{Cov}(X_i, \epsilon_i) = 0 \text{ d'où } \text{Var}(Y) = b_1^2 \text{Var}(X) + \text{Var}(\epsilon)$$

$b_1^2 \text{Var}(X)$ est due à la dispersion des X_i et correspond à la variance expliquée de Y

$\text{Var}(\epsilon)$: la variance résiduelle

La décomposition de $\text{Var}(Y)$ indique dans quelle mesure la droite des moindres carrés résume adéquatement ou non la distribution du couple (X_i, Y_i) .

Le quotient: Variance expliquée/Variance totale est appelé coefficient de détermination de X et Y, notée R_{xy}^2

$$R_{xy}^2 = \frac{b_1^2 \text{Var}(X)}{\text{Var}(Y)} \quad (7)$$

Il est égal au carré du coefficient de corrélation puisque

$$b_1 = \frac{\Sigma(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\Sigma(X_i - \bar{X})^2} = \frac{\text{Cov}(XY)}{\text{Var}(X)} \quad (8)$$

Le coefficient de détermination mesure la part de la variance de Y expliquée par la régression.

$R_{xy}^2 = 0,7$ signifie que la régression linéaire simple explique jusqu'à 70 % de la variance totale de Y. Son complément $(1 - R_{xy}^2)$ mesure la proportion que la variance résiduelle représente dans la variance de Y

$$\text{Var}(\epsilon) = \text{Var}(Y) \cdot (1 - R_{xy}^2)$$

Var (ϵ) étant positive

$$0 < R_{xy}^2 < 1 \quad (9)$$

d'où le coefficient de corrélation R_{xy} compris entre ± 1

$$-1 < R_{xy} < +1 \quad (10)$$

Si X et Y sont indépendants alors $R_{xy} = 0$ mais l'inverse n'est pas forcément vraie.

$R_{xy} = \pm 1$ signifie que les deux variables X et Y sont liées fonctionnellement par une relation linéaire.

Pour une estimation du coefficient de corrélation, si on dispose d'un échantillon de n couples (X_i, Y_i) , alors

$$r_{xy} = \frac{\Sigma (X_i - X) (Y_i - Y)}{\Sigma (x_i - x)^2 (y_i - y)^2} = \frac{\Sigma X_i Y_i - n XY}{(\Sigma X_i^2 - nX^2) (\Sigma Y_i^2 - nY^2)} \quad (11)$$

fournit une estimation ponctuelle de r_{xy}

2 - Traitement préliminaire

Avant d'utiliser la méthode de la régression et de la corrélation linéaire, il faut s'assurer que les variables étudiées sont aléatoires et mieux encore déceler ceux qui suivent une distribution normale si on veut procéder à des tests d'hypothèses ou des évaluations d'intervalles de confiance. Nous avons ainsi déterminé la distribution des sept variables mesurées sous forme d'histogrammes. Il apparaît à travers ces graphiques (figures 15 à 21) que la distribution empirique des paramètres s'approche de la distribution théorique normale. Par conséquent, ces paramètres ont une variation aléatoire, déterminée par un grand nombre de facteurs ayant chacun une pondération d'influence plus ou moins faible. On devrait donc mettre en évidence, en plus des sept paramètres mesurés, d'autres facteurs qui peuvent donner des explications supplémentaires sur le comportement du process.

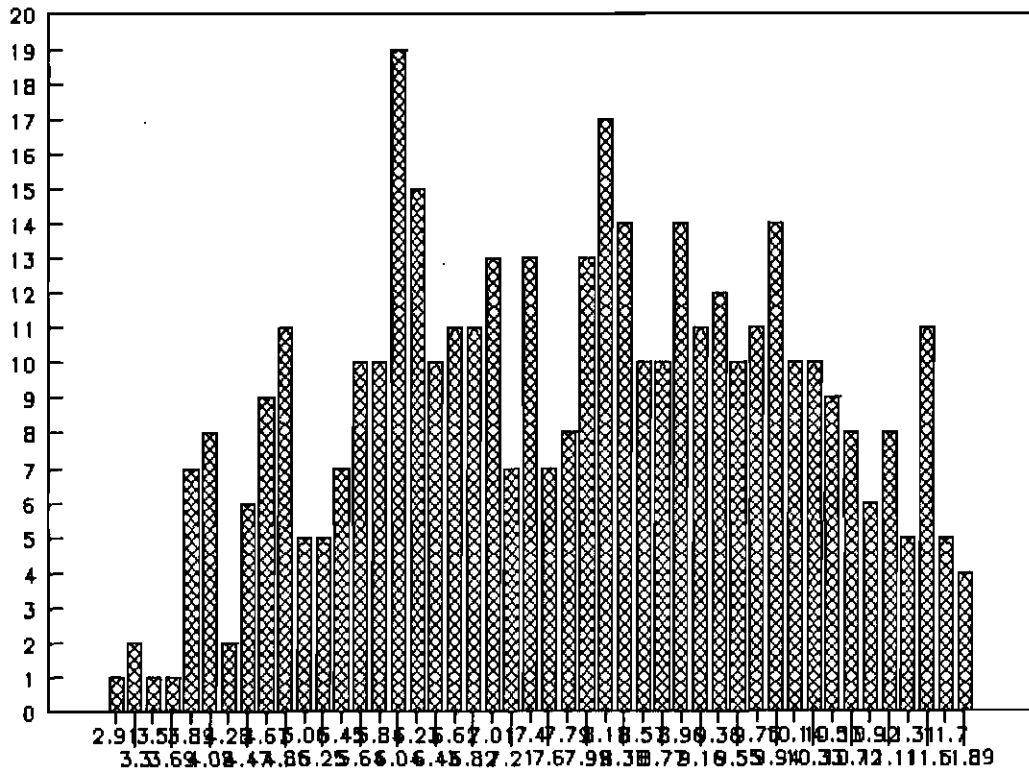
Il est recommandable d'orienter les futurs développements de ce projet dans cette direction.

Le caractère stochastique des paramètres du four s'explique surtout par la variation aléatoire des caractéristiques du phosphate (composition, structure, humidité, etc.), et des erreurs de mesure

et de régulation qui comme on le sait suivent une loi normale. Certains histogrammes, l'humidité notamment, sont plutôt bimodales. Cet aspect reflète l'existence de deux ou plusieurs populations distinctes, ayant des caractéristiques de dispersion différentes. Ceci peut être dû au fait que l'échantillon étudié contient plusieurs types de minerai ou que le four ait fonctionné à des régimes différents. Cela voudrait dire qu'il y aura nécessité dans le futur de séparer les valeurs qui appartiennent à la même population homogène de minerai. Dans ce cas le traitement statistique aboutira à des conclusions plus pertinentes. Ceci implique aussi de faire le traitement des données à temps réel, pour pouvoir saisir l'apparition d'une nouvelle population de données que l'on dirigera vers un autre fichier de stockage par exemple. Il est nécessaire de répéter l'échantillonnage du process et de vérifier si les valeurs obtenues constituent des estimations de la même population et si elles sont représentatives quantitativement. On pourra réduire au minimum la cadence d'acquisition des données pour diminuer le volume de mémoire nécessaire pour le stockage. Le registre électronique du four sera plus compact et permettra de sauvegarder l'expérimentation du four pendant plusieurs années.

HISTOGRAMME

humidite entree

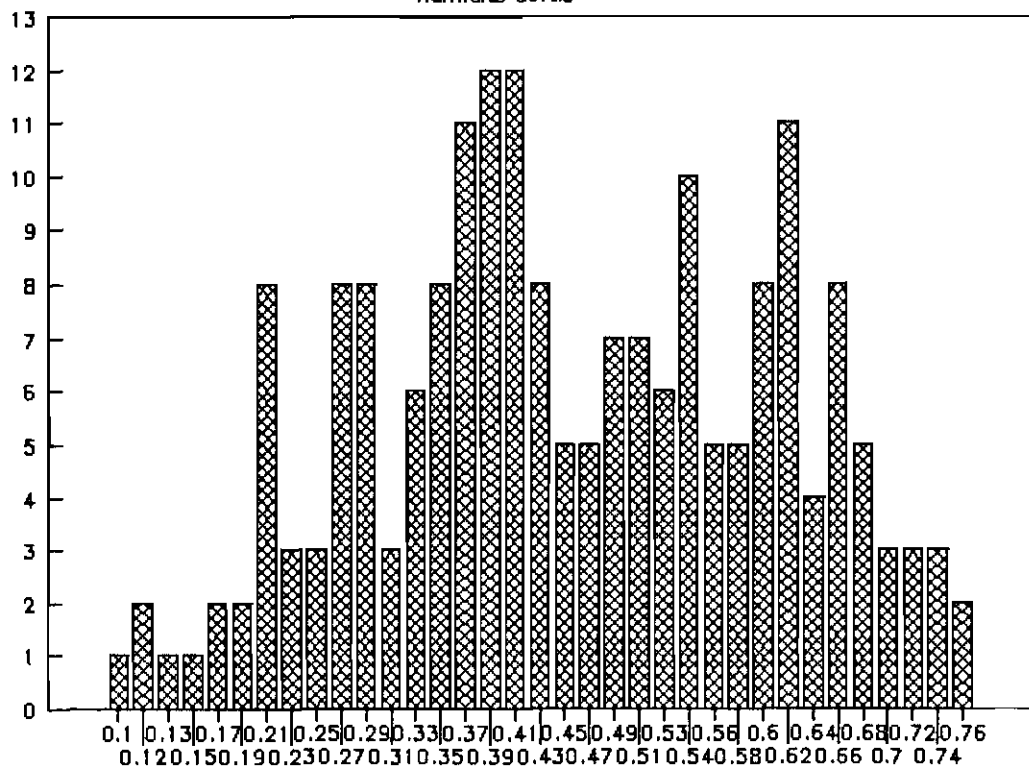


Humidite entree

figure 15

HISTOGRAMME

Humidite sortie

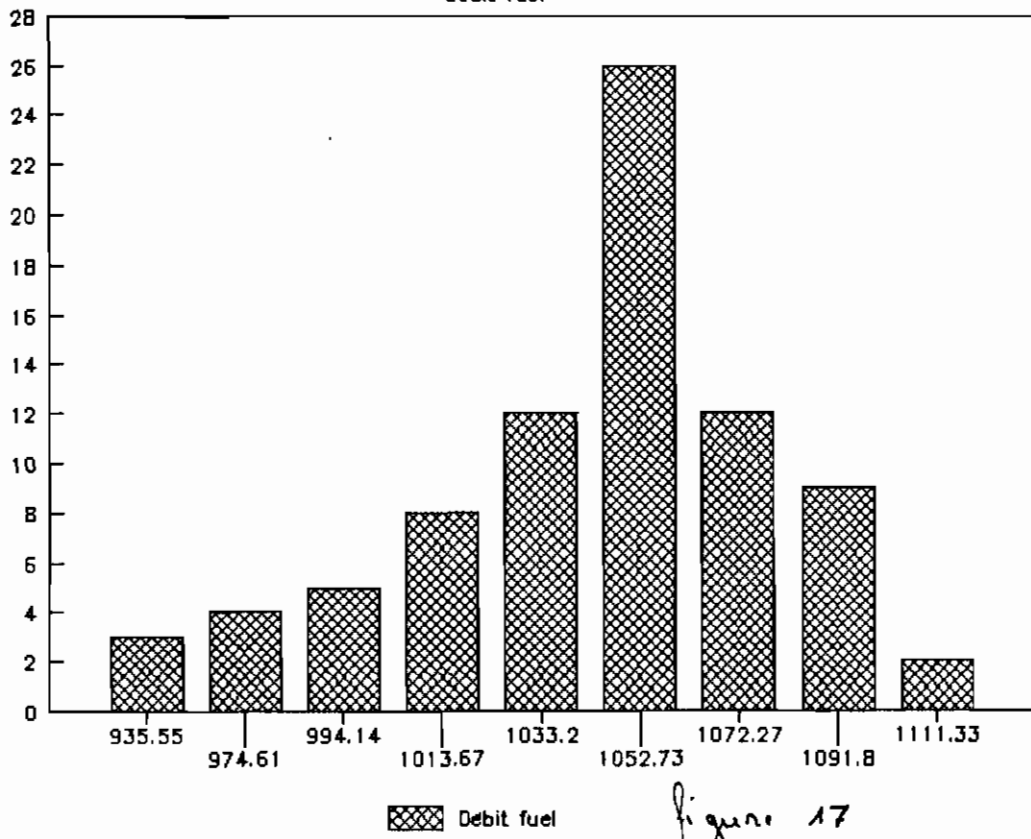


Humidite sortie

figure 16

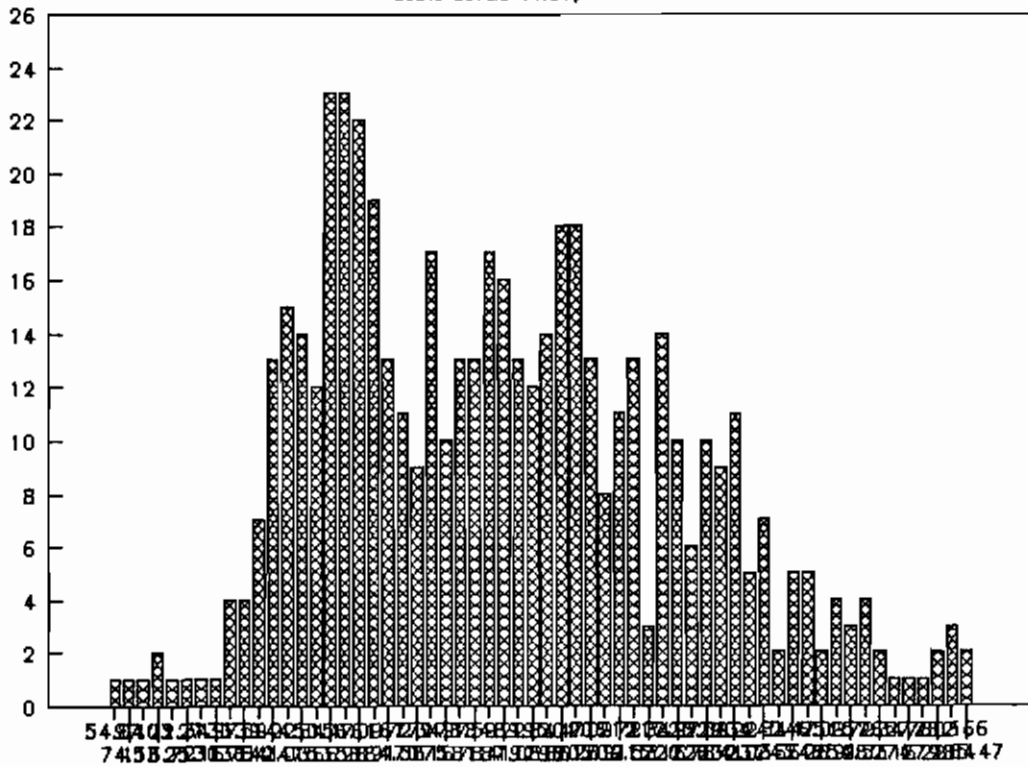
HISTOGRAMME

Debit fuel



HISTOGRAMME

debit sortie Phosph

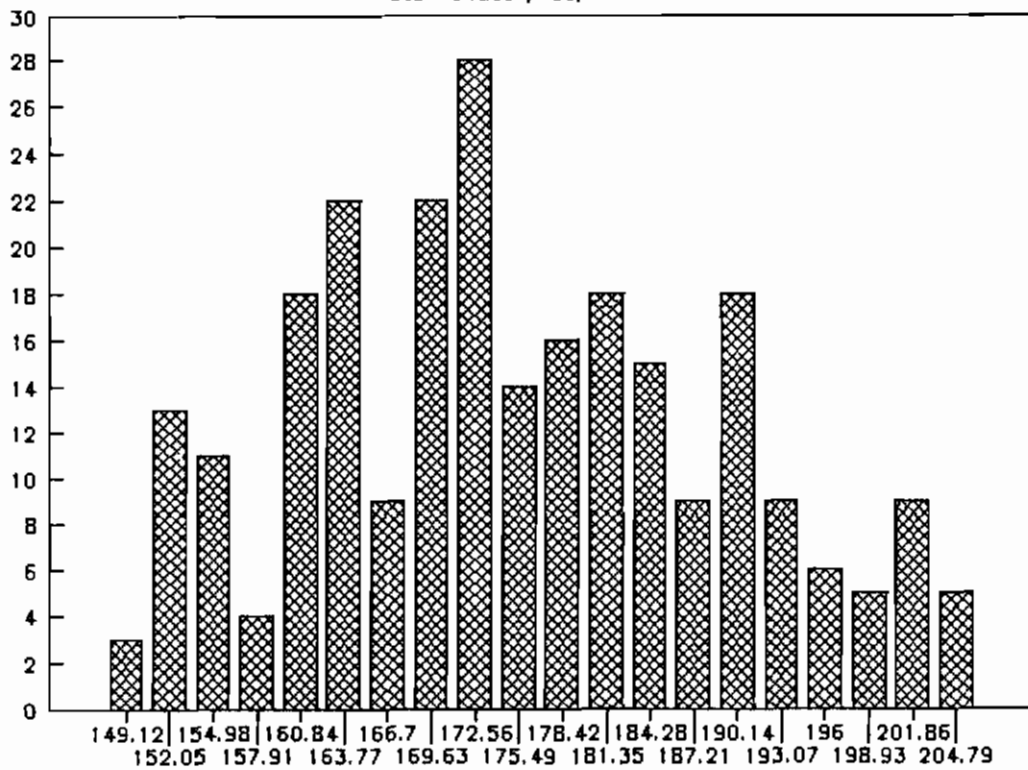


Debit sortie Phosph

figure 13

HISTOGRAMME

Debit entree phosph

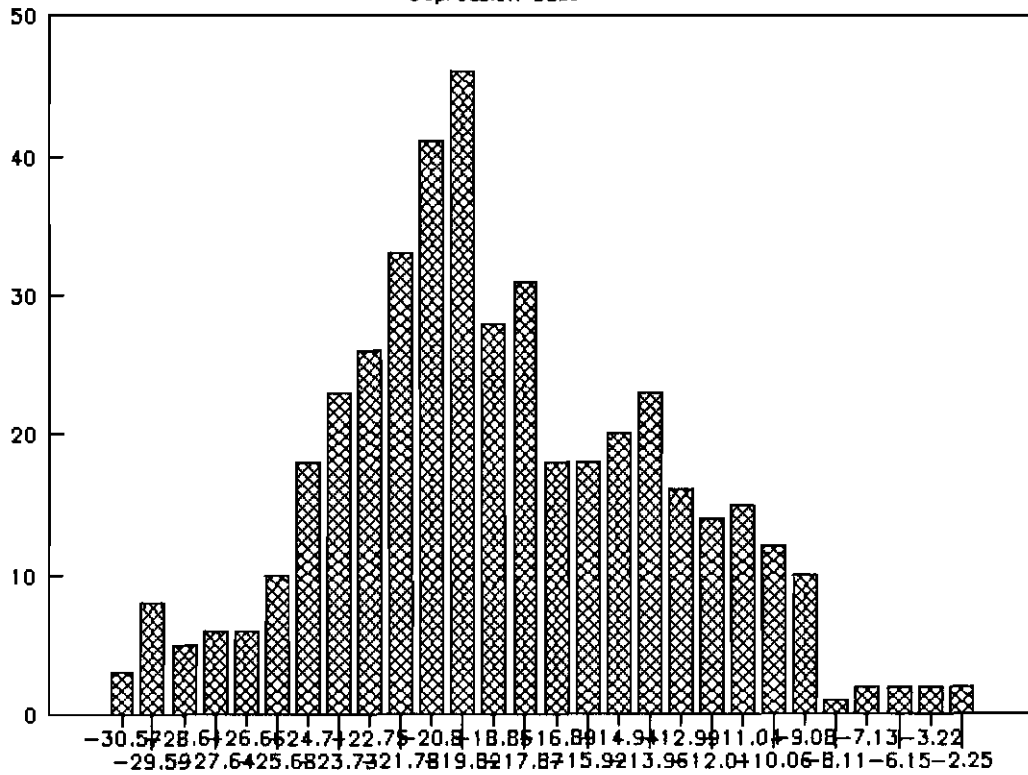


Debit entree phosph

figure 18

HISTOGRAMME

Depression base

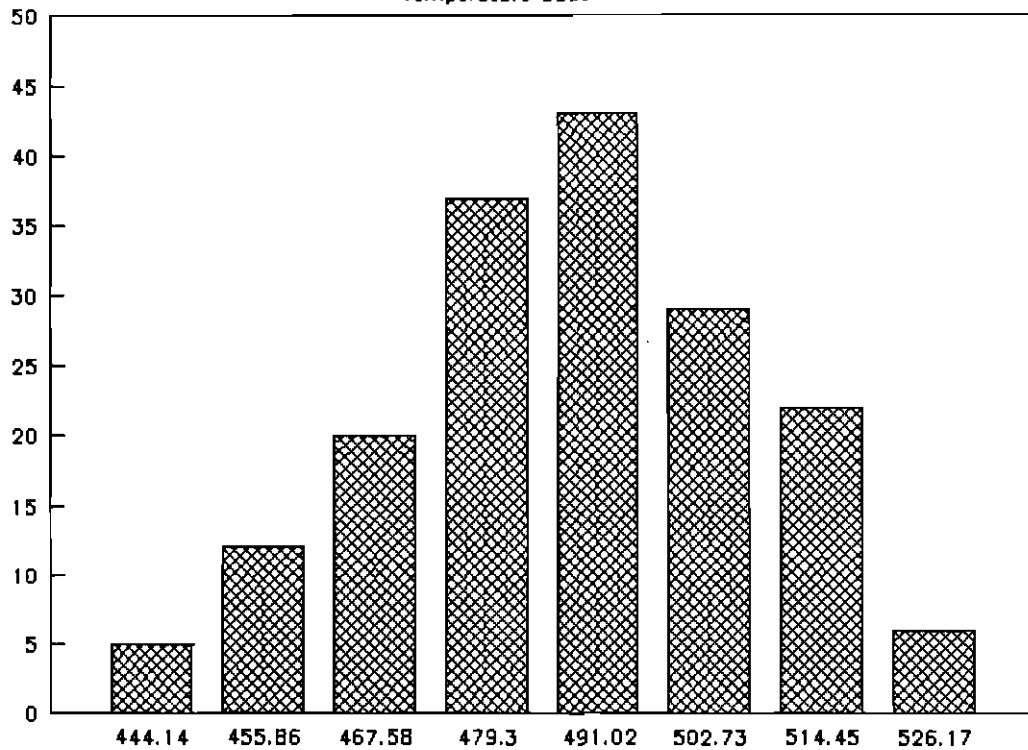


Depression base

figure 20

HISTOGRAMME

Temperature base



Temperature Base

figure 21

3 - présentation des résultats

Nous présentons ci-dessous, sous forme de textes et de tableaux les résultats des analyses. En plus de celles demandées dans le cahier de charges, nous en avons ajouté d'autres que nous jugeons utiles pour les commentaires qui suivent.

Les résultats présentés sous forme de texte nous donnent:

- Les coefficients de régression: ce sont les constantes de la droite de régression si c'est entre deux variables, du plan de régression si c'est trois variables ou de l'hyperplan si c'est plus de trois variables,
- Les écarts types des variables,
- La taille des échantillons,
- Les degrés de liberté,
- Le coefficient de détermination R dont la racine nous donne le coefficient de corrélation r.

TEMPERATURE BUSE = f(DEBIT FUEL)

Regression Output:

Constant	290.0993
Std Err of Y Est	26.1886
R Squared	0.891747
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	0.278476
Std Err of Coef.	0.003215

DEPRESSION BUSE = f(HUMIDITE SORTIE)

Regression Output:

Constant	-27.2287
Std Err of Y Est	7.000929
R Squared	0.00993
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	1.604142
Std Err of Coef.	0.530684

HUMIDITE ENTREE = f(HUMIDITE SORTIE)

Regression Output:

Constant	0.143521
Std Err of Y Est	0.402357
R Squared	0.152575
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	0.102061
Std Err of Coef.	0.007969

DEBIT SORTIE PHOSPHATE = f(DEBIT ENTREE PHOSPHATE)

Regression Output:

Constant	16.71412
Std Err of Y Est	12.66327
R Squared	0.593471
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	0.814494
Std Err of Coef.	0.022334

HUMIDITE SORTIE = f(DEBIT FUEL)

Regression Output:

Constant	0.710393
Std Err of Y Est	0.432561
R Squared	0.020571
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	0.000232
Std Err of Coef.	0.000053

DEBIT FUEL = f(HUMIDITE ENTREE)

Regression Output:

Constant	235.066
Std Err of Y Est	198.9947
R Squared	0.456459
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	109.0141
Std Err of Coef.	3.941293

DEBIT FUEL = f(TEMPERATURE BUSE, DEPRESSION BUSE)

Regression Output:

Constant	-177.651
Std Err of Y Est	85.45315
R Squared	0.899878
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	910
X Coefficient(s)	8.4920 2.51669

Std Err of Coef. 0.987805 0.08731

DEBIT FUEL = f(DEBIT ENTREE PHOSPHATE, HUMIDITE ENTREE)

Regression Output:

Constant	-1318.07	
Std Err of Y Est	154.473	
R Squared	0.672827	
No. of Observations	913	
Degrees of Freedom	910	
X Coefficient(s)	6.777483	121.6383
Std Err of Coef.	0.276274	3.102471

DEBIT FUEL = (MASSE D'EAU SECHEE, DEPRESSION BUSE)

Regression Output:

Constant	1334.49	
Std Err of Y Est	98.45534	
R Squared	0.867092	
No. of Observations	913	
Degrees of Freedom	910	
X Coefficient(s)	27.77904	25.1339
Std Err of Coef.	1.386676	0.658199

DEBIT FUEL = f(DEPRESSION BUSE)

Regression Output:

Constant	2003.414	
Std Err of Y Est	118.1227	
R Squared	0.808479	
No. of Observations	913	
Degrees of Freedom	911	

X Coefficient(s)	34.49347
Std Err of Coef.	0.556226

DEBIT FUEL = f(MASSE D'EAU SECHEE)

Regression Output:

Constant	109.2625
Std Err of Y Est	158.7397
R Squared	0.654124
No. of Observations	913
Degrees of Freedom	911
X Coefficient(s)	65.36576
Std Err of Coef.	1.574786

HUMIDITE SORTIE = f(DEBIT FUEL, HUMIDITE ENTREE)

Regression Output:

Constant	0.227893	
Std Err of Y Est	0.396184	
R Squared	0.179279	
No. of Observations	913	
Degrees of Freedom	910	
X Coefficient(s)	-0.00036	0.141189
Std Err of Coef.	0.000066	0.010643

HUMIDITE SORTIE = f(DEBIT ENTREE PHOSPHATE, HUMIDITE ENTREE)

Regression Output:

Constant	0.057517
Std Err of Y Est	0.402518
R Squared	0.152828
No. of Observations	913

Degrees of Freedom

910

X Coefficient(s)

0.102760.000375

Std Err of Coef.

0.008084

0.00072

Humid Ent = f(tous les autres paramètres mesurés)

Regression Output:

Constant	3.341981					
Std Err of Y Est	0.865767					
R Squared	0.733605					
No. of Observations	913					
Degrees of Freedom	906					
X Coefficient(s)	0.985599	0.002576	-0.02800	-0.00838	-0.04854	0.012091
Std Err of Coef.	0.066854	0.000341	0.002698	0.002276	0.012921	0.001253

Deb Fuel = f(tous les autres paramètres mesurés)

Regression Output:

Constant	141.6378					
Std Err of Y Est	81.77076					
R Squared	0.908724					
No. of Observations	913					
Degrees of Freedom	906					
X Coefficient(s)	0.039249	-0.14896	12.36116	1.895458	22.98698	-12.8218
Std Err of Coef.	0.269557	0.216586	1.159297	0.107173	3.043499	7.018107

Humidité Sortie = f(tous les autres paramètres mesurés)

Regression Output:

Constant	-0.04837					
Std Err of Y Est	0.386380					
R Squared	0.222824					
No. of Observations	913					
Degrees of Freedom	906					
X Coefficient(s)	-0.00028	0.002229	0.003449	0.006069	-0.00204	0.196303
Std Err of Coef.	0.000156	0.001271	0.001017	0.005807	0.000583	0.013315

Pour faciliter les analyses, nous avons regroupé les coefficients de détermination et de corrélation dans des tableaux, qui constituent la seconde forme de présentation.

- Le tableau 1 présente les valeurs moyennes des sept paramètres de cinq échantillons, la masse d'eau moyenne séchée (MES), c'est à dire la différence entre la masse d'eau contenue dans le minerai à l'entrée et celle contenue dans le minerai à la sortie:

$$MES = X_e\% * M_{me}/100 - X_s\% * M_{ms}/100 \quad (12)$$

avec $X_e\%$, $X_s\%$ respectivement pourcentage d'humidité à l'entrée et à la sortie

M_{me} , M_{ms} respectivement masse minerai à l'entrée et à la sortie,

et la consommation spécifique (CS) égale à

$$CS = \frac{\text{Débit Fuel}}{\text{Débit minerai à l'entrée}} \quad (13)$$

Les tableaux 2 à 9 regroupent les coefficients de corrélation et de détermination entre 2, 3 et 7 variables.

Tableau n°1

VALEURS MOYENNES DES PARAMETRES MESURES

HE	HS	DF	DEPH	DSPH	DEPB	TPB	MES	CS
8.3	1.89	724.6	180	157	-39.1	512.1	11.9727	4.025555
8.6	0.99	1361.2	258	237	-7.8	708.3	19.8417	5.275968
6.1	1.21	509.1	177	160	-49.9	442.5	8.861	2.876271
8.1	0.97	1117.9	214	191	-25.7	601.4	15.4813	5.223831
8.9	1.11	740.3	205	186	-22.3	519.3	16.1804	3.611219

Tableau n°2

COEFFICIENTS DE DETERMINATION R_{xy}

	HE	HS	DF	DEPH	DEPB	TPB	MES
HE		0.153	0.45				
HS			0.02		0.0099		
DF					0.8084	0.89	0.65
DSPH				0.59			
DEPB							
TPB							
MES							

Tableau n°3

COEFFICIENTS DE CORRELATION r_{xy}

	HE	HS	DF	DEPH	DEPB	TPB	MES
HE			0.67				
HS		0.39	0.14		0.1		
DF					0.9	0.94	0.8
DSPH				0.77			
DEPB							
TPB							
MES							

Tableau n°4

COEFFICIENTS DE DETERMINATION R_{xyz}

	TPB,DEPB	DEPH,HE	ME, DEPRB
DF	0.9	0.67	0.87

Tableau n°6

COEF DE DETERMINATION R_{xyz}

	DF,HE	HE,DEPH
HS	0.18	0.153

Tableau n°5

COEFFICIENTS DE CORRELATION r_{xyz}

	TPB,DEPB	DEPH,HE	ME, DEPRB
DF	0.95	0.82	0.93

Tableau n°7

COEF DE CORRELATION r_{xyz}

	DF,HE	HE,DEPH
HS	0.42	0.39

Tableau n°8

COEFFICIENTS DE DETERMINATION

	En fonction de tous les autres paramètres
DF	0.91
HE	0.73
HS	0.22

Tableau n°9

COEFFICIENTS DE CORRELATION

	En fonction de tous les autres paramètres
DF	0.95
HS	0.85
HE	0.47

4 - Commentaires

Nous avons dit précédemment que le coefficient de détermination représente le pourcentage de la variation totale de Y expliquée par la droite de régression linéaire ; il est d'autant plus proche de 1 s'il est exprimé en valeur relative, ou de 100 s'il est donné en pourcentage, que la relation qui unit les paramètres suit cette droite de régression. Le coefficient de corrélation mesure l'intensité de la liaison entre les variables ; il est d'autant plus proche de 1 s'il est positif, ou de -1 s'il est négatif que la liaison affine entre la grandeur dépendante et les grandeurs indépendantes est forte.

Le traitement statistique des données, notamment le calcul de corrélation simple et multiple entre les paramètres mesurés du four s'est avéré très fécond en conclusions pratiques et importantes, concernant son exploitation optimale et la conception d'un système de régulation efficace , stable et économique.

Le calcul des dépendances statistiques entre deux paramètres du four permet des commentaires très instructifs.

- La plus forte corrélation ($r = .94$) lie le débit fuel et la température buse. L'intensité élevée de cette liaison linéaire s'explique par le fait que les deux paramètres sont liés par le principe même de construction du brûleur. Même remarque entre le débit fuel et la dépression buse ($r = .9$)

- Le débit fuel est corrélé de manière significative à l'humidité entrée ($r=.670$); seulement 45% de la variation observée du débit fuel est expliqué par les changements d'humidité à l'entrée, car le

coefficient de détermination est de .45.

- Une dépendance certaine ($r = .8$) existe entre le débit fuel et la masse d'eau séchée. Vu que $R = .65$, il résulte que 35% de la variation du fuel n'est pas expliquée par la chaleur utilisée pour vaporiser l'eau.

- La corrélation entre les débits entrée et sortie phosphate caractérisée par une détermination de .59 montre que 41% des variations constatées du débit à la sortie sont influencées par d'autres facteurs, notamment l'humidité entrée.

- La faible corrélation ($r = .39$) entre l'humidité entrée et sortie est due à l'existence d'une régulation qui force l'humidité sortie à rester dans une certaine plage, indépendamment de l'humidité entrée. La même explication est valable entre l'humidité sortie et le débit fuel; entre l'humidité sortie et la dépression buse qui ont respectivement $r = .14$ et $r = .1$.

- Le calcul de corrélation entre trois paramètres du four (tableaux 4 à 7) permet d'expliquer davantage la dispersion des mesures. La plus forte corrélation ($r = .95$) s'obtient entre le débit fuel et (la température buse , la dépression buse). On constate que les variations des valeurs de la dépression buse, ajoutées à celles de la température, augmentent le coefficient de corrélation de .90 à .95. Cette faible augmentation s'explique par le fait que, l'influence de la dépression buse a déjà été prise en compte indirectement dans la corrélation débit fuel - température buse par la liaison température buse - dépression buse.

- La corrélation entre le débit fuel et les débits entrée

phosphate-humidité entrée est assez forte ($r = .82$). Le fait que r soit différent de 1 montre que ces deux facteurs ne déterminent pas à eux seuls la consommation du fuel, comme on pourrait si attendre. De $R = .67$, il résulte que 33% de variation du débit fuel sont dus à d'autres facteurs. Il reste à les identifier pour pouvoir conclure sur les possibilités de réduire la consommation de combustible au niveau du four.

- Les corrélations multiples entre un paramètre et les six autres confirment ce qui est dit plus haut. Pour le débit fuel, $R = .91$. Ce qui signifie que 91% de la variation de débit est expliqué de manière linéaire par les six autres paramètres. Pour l'humidité sortie, $R = .22$ est assez faible, il est dû au fait que l'humidité sortie est imposée.

- Deux autres paramètres très importants sont la masse d'eau séchée (MES) et la consommation spécifique (CS) calculées. Ils résument en fait l'influence de plusieurs paramètres du four.

La masse d'eau séchée étant liée de manière fonctionnelle avec les humidités entrée / sortie ainsi que les débits entrée / sortie minéral, on peut donc affirmer qu'elle a autant d'influence sur le processus que ces paramètres réunis. Cette remarque est aussi valable entre le débit fuel et le débit entrée phosphate par rapport à la consommation spécifique.

Nous remarquons en plus dans le tableau 1 que la consommation spécifique varie dans les mêmes proportions que la masse d'eau séchée, ce qui du reste était prévisible.

Dans ce même tableau on note que le minéral marchand est pour le

plus souvent plus séché que nécessaire.

Les quatre valeurs moyennes d'humidité sortie sur cinq se situent aux environs de 1 (0.97; 0.99; 1.11; 1.21) alors que la valeur limite est de 2% . Pour éviter de chauffer le minerai inutilement, il suffirait de maintenir cette valeur constante et très proche de 2% . Ceci peut être obtenu en créant un signal différentiel entre les humidimètres à l'entrée et à la sortie qu'on utilisera pour régler le débit fuel et le débit entrée phosphate . Ce signal différentiel, en liaison avec le débit entrée phosphate, représente en réalité la masse d'eau séchée.

Toujours en se référant au Tableau 1, la consommation spécifique moyenne passe presque du simple au double (2.9 l/T à 5.3 l/T) quand la masse d'eau moyenne séchée passe de 9Tonnes à 20Tonnes, donc du simple au double elle aussi. D'où la nécessité de supprimer la quantité d'eau juste nécessaire. Ainsi on sera sûr de diminuer la consommation spécifique d'au moins 50% tout en respectant la consigne d'humidité à la sortie : environ 2% .

Les tableaux 2 et 3 montrent cette liaison assez importante qui existe entre ces trois paramètres :

$$R_{DF,MES} = 0.65$$

$$r_{DF,MES} = 0.81$$

En associant la dépression buse à ces deux variables on obtient :

$$R_{DF,(MES,DEPB)} = 0.867$$

$$r_{DF,(MES,DEPB)} = 0.93$$

Il s'avère donc nécessaire de surveiller en même temps la dépression buse parce qu'elle participe de manière significative à

la variation du débit fuel.

L'analyse de la consommation spécifique (rapport entre le débit fuel et le débit entrée phosphate) a permis d'établir quelques conclusions pratiques dont l'application pourrait apporter des économies significatives de combustible:

- * Les moyennes des consommations spécifiques varient du simple au double dans les plages de fonctionnement explorées, relevant ainsi l'importance de la régulation à consommation spécifique minimale ; il reste à déterminer la capacité de production du four à ce régime qui peut être considéré comme optimal.

- * Il est nécessaire d'étudier expérimentalement , à l'aide d'un système d'acquisition de données les causes de l'augmentation de la consommation spécifique dans certains cas ; il est utile d'établir le modèle du four par le calcul de corrélations statistiques entre ces paramètres ; par simulation on pourra déterminer les implications du régime de consommation spécifique minimale sur les autres performances de l'installation.

- Un autre type de consommation spécifique théorique de fuel , rapportée à la tonne d'humidité évaporée, montre le rendement du four dans l'hypothèse idéale de pertes thermiques nulles. Ces valeurs peuvent servir pour :

- * comparer les performances des fours de différentes conceptions et technologies en vue d'apporter des modifications à l'équipement existant ou d'acheter du matériel pour extensions.
- * la surveillance de l'évolution de la consommation spécifique théorique dans le temps pour dépister soit l'usure de certains

composants du four, soit l'apparition de facteurs nuisibles à son fonctionnement (encrassage du four, de la cheminée etc); la consommation spécifique théorique est un bon indicateur pour l'entretien préventif.

CHAPITRE V RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

1. L'implantation et l'expérimentation d'un système d'acquisition de données au four sécheur a prouvé la faisabilité technique du projet par les moyens propres de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba.
2. Le traitement statistique de données obtenues a permis d'évaluer la rentabilité du système d'acquisition de données proposé. Les économies réalisables en combustible amortissent les investissements très réduits estimés à 1 900 000 FCFA (hors taxes et douanes) dans un délais de quelques mois.
3. Les spécifications du matériel nécessaire montrent premièrement sa simplicité : un ordinateur personnel le plus ordinaire , une carte spécialisée de système d'acquisition de données et un logiciel professionnel très performant. (Labtech, Note Book ou équivalents).
Cette logistique peut être facilement maîtrisée par une formation de courte durée (quelques semaines) du personnel ayant des notions élémentaires en informatique.
4. Les corrélations quantitatives établies entre les paramètres qui déterminent le fonctionnement du four ont permis d'en déduire un modèle mathématique qui reproduit fidèlement les résultats expérimentaux.
5. Le modèle expérimental proposé (sous forme d'une corrélation multiple linéaire) permet une interprétation de données de mesures riches en conclusions concernant la conduite optimale du

four et les caractéristiques du système de régulation recommandable pour son automatisation.

6. Nous proposons l'installation d'un système de récupération de pertes d'énergie par condensation de l'humidité éliminée par le séchage du phosphate .

Les économies réalisables et le débit important d'eau de condensation obtenu (entre 6000 et 14000 m³ / mois), nous laissent présager la rentabilité d'une installation de récupération, qui reste à être étudiée dans le cadre d'une étude ultérieure.

7. Il est souhaitable de continuer les travaux entrepris afin de pouvoir obtenir un plus grand nombre de données expérimentales, afin d'en déduire des conclusions supplémentaires sur l'exploitation optimale du four et surtout d'étudier plus en détails les propositions faites dans ce rapport.
8. L'interprétation des résultats , présentée dans le chapitre précédent montre que le système d'acquisition et de traitement des données proposé et essayé est un outil très puissant de suivie et de surveillance informatisées de la production, de pilotage assisté par ordinateur du four sécheur, dont la réalisation dans un délai minimum est techniquement possible et recommandable du point de vue économique .


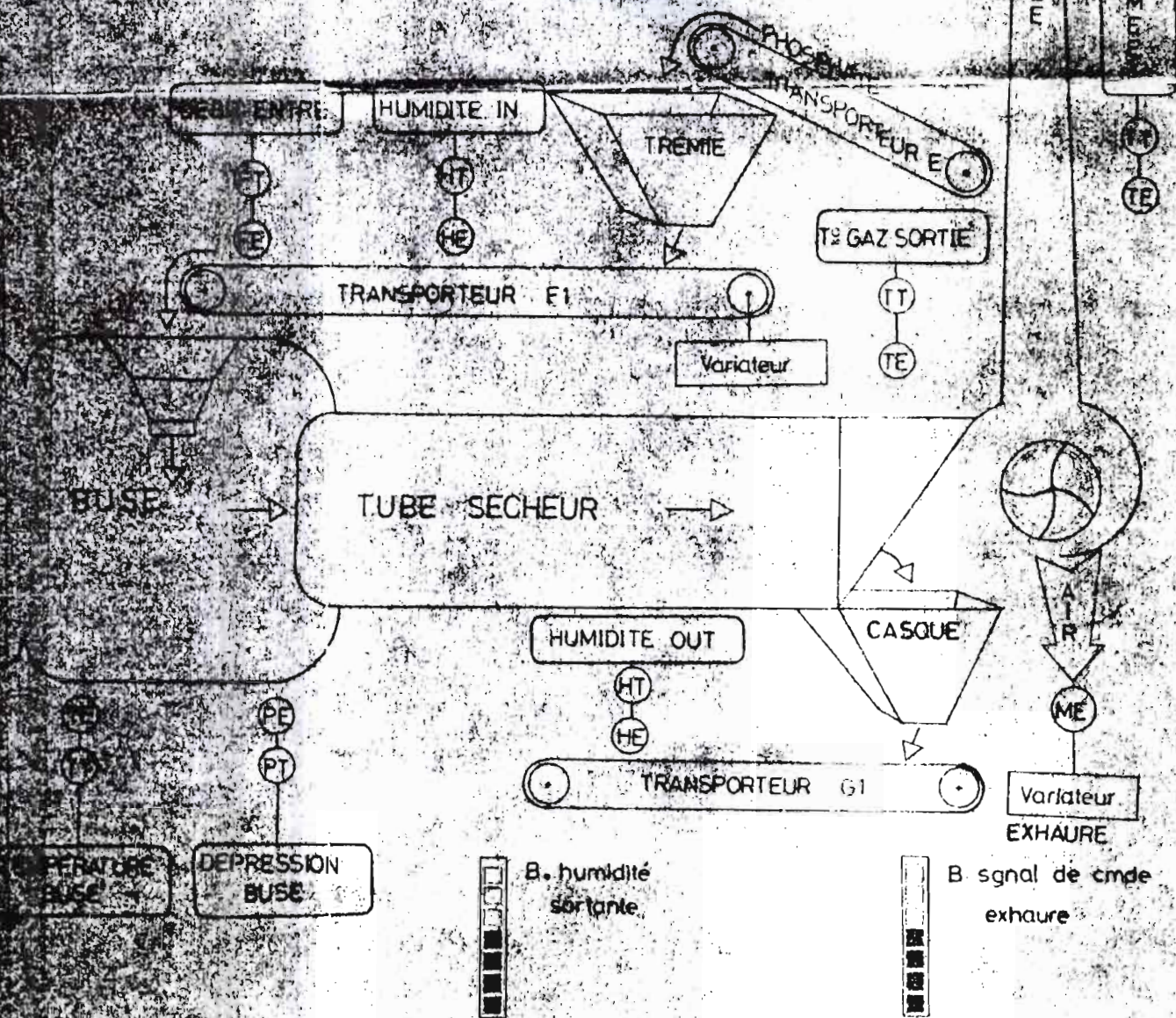
BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Marcel Jufer : Traité d'électricité IX
"Transducteurs électroniques "
Presses polytechniques Romandes 1985
- 2 - J-P. Holman "Experimental methods for engeneers "
Fifth Edition
Mc Craw-Hill 1989
- 3 - G . C. Barney Intelligent instrumentation
"Microprocessor applications in measurement
and control"
- 4 - H. Nussbaumer Informatique industrielle III
"Automates programmables Commande et
réglage capteurs" Presse polytechnique
Romande Collection informatique 1987
- 5 - Trigot et Picard "Ensembles et statistiques" Mc Craw Hill
- 6 - J. Martel & R. Nadeau
"Statistique en gestion et en économie"
Goetan Morin
- 7 - Roger C. Pfaffenberger & James H. Patterson
"Statistical methods for busness and
economics" Yale University 1977
- 8 - Catalogue OMEGA 1987 "Pressure, strain and force measurement,
handbook and encyclopedia"
- 9 - HP 38 525 Data Acquisition and control System, November 1989
- 10 - CIO - AD08 user's Manual Revision 4, April 1991
- 11 - Manuel Control- EG Quinn - Curtis

ANNEXES

B. sortie proportionneur
reg 3

SYNOPTIQUE PRINCIPAL DU SYSTEME
REGULATION DU FOUR SECHEUR N°1
ANNEXE A

B. signal sortie
reg 3

B. signal sortie
boucle refractaires

B. signal de commande
combustion

B. signal de commande
vanne vapeur

COMBUSTION

Servomoteur

BASE

COMMUTATEUR

OFF - Rouge
ON - Vert

B. position
ventilateur
combustion

D.P.T.

MC

TEMPERATURE
REFRACTAIRES

VAPEUR

VANNE

PRESSENCE
TUBE FUEL

VISCOSITE
FUEL

DEBIT
FUEL

FOYER

BROCHES
REFRACTAIRES

B. signal de commande
vanne fuel

B. signal de commande
dilution

Servomoteur

D.P.T.

DILUTION

B. position
ventilateur
dilution

COMMUTATEUR: OFF - boucle ref / ON - sortie reg 3

ALARMES: Rouge-ON / Vert-OFF

B = bargraphe

