

MARIO DESCHÊNES

**ESSAIS PRÉLIMINAIRES ET ÉTALONNAGE D'UN BANC
D'ESSAI DE MICRO-TURBINES**

**Mémoire
présenté
à la Faculté des études supérieures
de l'Université Laval
pour l'obtention
du grade de maître ès sciences (M.Sc.)**

**Département de génie mécanique
FACULTÉ DE SCIENCES ET DE GÉNIE
UNIVERSITÉ LAVAL**

JANVIER 1997

©Mario Deschênes, 1997



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*

Our file *Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26189-1

Canada

0.1 Résumé

Le département de Génie Mécanique de l'Université Laval a récemment ajouté à son laboratoire de mécanique des fluides un banc d'essai de micro-turbines et de turbines modèles. Cet équipement est conçu pour permettre d'effectuer des essais de rendement et des études spécialisées sur les turbines hydro-électriques.

Ce travail de maîtrise s'est effectué au cours de la mise au point et des premiers essais du banc. On décrit, dans ce mémoire, la théorie de base liée aux turbines et les équipements composant le banc d'essai ; on y évalue la précision du banc et on y établit la zone de fonctionnement de celui-ci. Le fonctionnement d'ensemble de la boucle d'essai est satisfaisant. La zone d'opération du banc est conforme aux prévisions de même que la précision attendue des instruments. Toutefois, les premiers résultats ont montré des instabilités que nous avons analysées afin d'en trouver les causes et de proposer des avenues possibles pour corriger la situation.

0.2 Avant-propos

0.2.1 Remerciements

Je tiens d'abord à remercier ma directrice de maîtrise, Dr Claire Deschênes, pour son aide éclairée dans le cheminement de mon travail de maîtrise et pour la confiance qu'elle m'a témoignée au cours de la réalisation et de la mise au point du banc d'essai de micro-turbines.

Je veux aussi remercier Messieurs Yves Jean et Jean-Marc Arseneault, de même que le personnel de l'atelier mécanique pour leur soutien lors des travaux expérimentaux.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à Jean-François Caron, Sahraoui Bouziane et Antoine St-Hilaire, dont les travaux effectués sur le banc d'essai ont apporté des informations complémentaires à mon travail. Je remercie aussi tous les étudiants qui ont collaboré au projet de banc d'essai de micro-turbines de l'Université Laval.

Je me dois aussi de remercier CANMET, qui a financé en grande partie ce projet, de même que le CRSNG et le MER Québec.

Finalement, je désire remercier mes amis et mes camarades de travail qui m'ont toujours soutenu, et avec qui j'ai eu de nombreuses discussions qui ont permis d'enrichir ce mémoire.

0.2.2 Contexte d'insertion du projet

Dès le début du 20^e siècle, on prit conscience de l'immense potentiel hydro-électrique du Québec. C'est ce qui a permis à la société québécoise de développer une expertise mondialement reconnue dans la construction de centrales hydro-électriques et de barrages. De plus, l'étatisation de l'électricité au cours des années 60 a permis de développer une expertise dans les domaines du transport, de l'utilisation et de la gestion de cette forme d'énergie. Jusqu'à tout récemment, le monopole d'Hydro-Québec en matière de production et de distribution d'électricité était incontestable.

Cependant, depuis 1990, Hydro-Québec s'ouvre à la production privée. De petites centrales de moins de 25 MW sont cédées à l'entreprise privée, qui revend toutefois sa production à Hydro-Québec. Un courant de pensée similaire a fait en sorte que les questions environnementales prennent de plus en plus d'importance dans notre société. Dans un tel contexte, même le domaine de l'hydro-électricité doit revoir ses façons de faire. Ainsi, les petits projets hydro-électriques redeviennent plus intéressants, étant donné les effets moindres qu'ils ont sur l'environnement. Cet engouement pour les petites centrales s'étend aux pays en voie de développement où les grands projets ne suffisent pas à combler la demande des petites communautés éloignées des grands centres.

Tous ces facteurs rendent la recherche sur les micro et mini-turbines des plus actuelles. Bien que la technologie des turbines hydrauliques soit utilisée depuis plus d'un siècle, on ne compte que peu de laboratoires de machines hydrauliques en dehors des installations des manufacturiers de grandes turbines. On en retrouve environ une dizaine à travers le monde, dont l'IMHEF à Lausanne et le CREMHyG à Grenoble. Le Canada, malgré sa grande expertise en hydro-électricité, ne possède pas de banc d'essai indépendant du milieu manufacturier.

Les grands manufacturiers utilisent leurs bancs d'essai pour le développement de leurs produits et ne peuvent se permettre d'immobiliser ces équipements au profit de longues recherches fondamentales ou d'intérêts externes. D'un autre côté, les manufacturiers de micro-turbines n'ont pas de tels équipements et ne peuvent généralement pas s'offrir les coûteux essais de laboratoire sur les bancs d'essai internationaux. Ces essais leur permettraient de contrôler la performance de leurs produits et d'en améliorer les caractéristiques. Ce type d'installation est aussi utilisé par les grands producteurs d'électricité pour effectuer des tests de performance indépendants sur les nouvelles turbines qu'ils achètent. De telles installations sont aussi utilisées pour la recherche fondamentale sur l'écoulement des fluides, la résistance des matériaux et dans d'autres domaines appliqués aux turbines. La formation de personnel hautement spécialisé est un autre atout important découlant de l'existence de tels équipements. Ce sont toutes ces raisons qui ont amené l'Université Laval, en collaboration avec CANMET, à construire un banc d'essai de micro-turbines et de turbines modèles.

0.3 Table des matières

0.1	Résumé	3
0.2	Avant-propos	4
	0.2.1 Remerciements	4
	0.2.2 Contexte d'insertion du projet	4
0.3	Table des matières	6
0.4	Liste des tableaux, figures et symboles	10
	0.4.1 Liste des symboles utilisés	10
	0.4.2 Liste des tableaux	11
	0.4.3 Liste des figures	12

CHAPITRE 1**Introduction**

1.1	Mise en situation et objectifs du mémoire	15
1.2	Rappels théoriques	16
	1.2.1 Types de turbines	16
	1.2.2 Calcul du rendement	18
	1.2.3 Paramètres adimensionnels	21
	1.2.4 Cavitation	21

CHAPITRE 2**Banc d'essai de micro-turbines**

2.1	Paramètres de base	25
2.2	Infrastructures	28
	2.2.1 Composantes principales du banc d'essai	29
	2.2.2 Instrumentation	29
	2.2.3 Systèmes de contrôle, de protection et d'acquisition	34

CHAPITRE 3

Calcul d'erreur

3.1	Rappel théorique sur le calcul d'erreur	39
3.1.1	Identification des paramètres	39
3.1.2	Choix des méthodes de mesure	39
3.1.3	Évaluation des erreurs expérimentales	40
3.1.4	Étalonnage	41
3.1.5	Acquisition	42
3.1.6	Propagation des erreurs dans le traitement des données	43
3.1.7	Exemple de calcul d'erreur à l'étape du design pour la mesure du rendement	45
3.2	Étalonnage des instruments	47
3.2.1	Mesures des pressions et de la chute H	47
3.2.2	Mesure du débit Q	50
3.2.3	Mesure du Couple C	51
3.2.4	Mesure de la vitesse de rotation ω	52
3.2.5	Mesure des profils de vitesse	52
3.2.6	Résumé des erreurs	57

CHAPITRE 4

Modes de fonctionnement et méthodes de mesure

4.1	Programmation des systèmes d'acquisition et de protection	60
4.1.1	Interaction entre la protection et le processus expérimental	60
4.1.2	Interaction entre l'acquisition et le processus expérimental	61
4.2	Protocoles d'essai et commentaires	64
4.2.1	Essais de stabilité d'opération (STAB_OP)	64
4.2.2	Premières mesures de profils de vitesse (PROFIL_01)	69
4.2.3	Mesures de rendement (ETA_00, ETA_01, ETA_STAB, ETA_02)	72
4.2.4	Secondes mesures de profils de vitesse (PROFIL_02)	76
4.2.5	Mesures dynamiques (DYN_01)	78
4.3	Résumé	81

CHAPITRE 5

Analyse des données

5.1	Analyses statistiques	83
5.1.1	Stabilité des mesures	83
5.1.2	Répétabilité des mesures	87
5.1.3	Distribution des données (loi normale)	91
5.1.4	Ergodicité des données	97
5.1.5	Résumé des analyses statistiques	99
5.2	Zone de fonctionnement du banc d'essai	102
5.2.1	Enveloppe d'opération théorique	103
5.2.2	Enveloppe réelle des essais	104
5.3	Erreur expérimentale actuelle du banc d'essai	105
5.4	Analyses en fréquences des mesures dynamiques	108
5.4.1	Analyses 0-250 Hz	109
5.4.2	Analyses 0-50 Hz	111
5.4.3	Analyses des fréquences retenues	113
5.4.4	Filtration des données	115
5.4.5	Pertinence de la filtration des données lors d'essais	118
5.4.6	Résumé des analyses en fréquences	119

CHAPITRE 6

Conclusion

6.1	Rappel des objectifs	123
6.2	Points saillants des analyses	123
6.3	Résumé et développements à venir	125

Bibliographie

.	127
-----------	-----

ANNEXE A**Instrumentation : Informations techniques**

..... 131

ANNEXE B**Résultats : Essais de stabilité d'opération**

..... 197

ANNEXE C**Stabilité des mesures de rendement**

..... 228

ANNEXE D**Mesures de rendement**

..... 237

ANNEXE E**Mesures dynamiques**

..... 258

ANNEXE F**Compléments mathématiques**

..... 296

0.4 Liste des tableaux, figures et symboles

0.4.1 Liste des symboles utilisés

Symbole	Description	Unités
A	Surface	[m ²]
C	Vitesse absolue de l'écoulement	[m/s]
C_a	Composante axiale de la vitesse absolue de l'écoulement	[m/s]
C_r	Composante radiale de la vitesse absolue de l'écoulement	[m/s]
D	Diamètre	[m]
F	Force	[N]
g, g_l	Accélération gravitationnelle générale et locale	[m/s ²]
H	Chute	[m]
H_p, H_W	Perte de charge	[m]
N	Vitesse de rotation	[rpm]
p, p_p, p_s	Pression, pression sur une ligne de courant, pression statique	[Pa]
P	Puissance	[Watt]
Q	Débit	[m ³ /s]
R	Rayon	[m]
Re	Nombre de Reynolds	[-]
T	Température	[°C]
t	Temps	[s]
U	Vitesse tangentielle de la turbine	[m/s]
V, V_p	Vitesse de l'écoulement, vitesse d'une ligne de courant	[m/s]
W	Vitesse relative de l'écoulement	[m/s]
Z, Z_p	Élévation, élévation sur une ligne de courant	[m]
α	Angle	[°]
β	Angle	[°]
Γ	Circulation	[m ² /s]
γ	Angle	[°]
Δ	Erreur absolue	[-]
ϵ	Erreur relative	[%]
η	Rendement	[%]

μ	Viscosité dynamique	[Pa s]
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]
ρ	Densité	[kg/m ³]
σ	Index de cavitation (Chiffre de Thomas)	[-]
ϕ	Chiffre de débit	[-]
ψ	Chiffre d'énergie	[-]
ω	Vitesse de rotation angulaire	[rad/s]

0.4.2 Liste des tableaux

Table I Paramètres adimensionnels	22
Table II Gamme de débit unitaire, turbines à réaction	26
Table III Chute et diamètre minimum (Code IEC)	26
Table IV Valeurs d'essais minimum (norme AFNOR)	26
Table V Erreurs maximum permises (norme AFNOR)	27
Table VI Caractéristiques du PLC TI545	34
Table VII Erreurs à l'étalonnage	40
Table VIII Erreurs à l'acquisition	40
Table IX Erreurs de traitement	40
Table X Conditions d'opération des points de mesures	83
Table XI Dispersion moyenne des sous-échantillons et des échantillons	85
Table XII Dispersion des échantillons d'un même point: $H \approx 20$ m et $N \approx 800$ rpm	88
Table XIII Dispersion des mesures d'un point: $H \approx 20$ m et $N \approx 1200$ rpm	88
Table XIV Dispersion moyenne des variables	90
Table XV Test d'hypothèse: Distribution normale pour les essais ETA_STAB	93
Table XVI Dispersion des moyennes de sous-échantillons par point de mesures	98
Table XVII Dispersion des moyennes de sous-échantillons	99
Table XVIII Erreur (e95%) sur les variables utilisées dans le calcul de rende- ment	105
Table XIX Liste des canaux utilisés pour la mesure dynamique	109
Table XX Effet de la filtration du signal sur la dispersion des données	117
Table XXI Comparaison des intervalles e _{95%} sur le rendement des signaux filtrés	118

0.4.3 Liste des figures

Figure 1 Schéma et photo d'une turbine Pelton.	16
Figure 2 Schéma et photo d'une turbine Kaplan.	17
Figure 3 Schéma et photo d'une turbine Francis.	17
Figure 4 Triangles de vitesse d'une turbine axiale.	18
Figure 5 Diagramme d'énergie d'une centrale hydro-électrique	19
Figure 6 Banc d'essai	28
Figure 7 Console opérateur de l'automate	35
Figure 8 Schéma du système d'acquisition	37
Figure 9 1 ^{ère} Courbe d'étalonnage du Rosemount	49
Figure 10 2 ^e Courbe d'étalonnage du Rosemount	50
Figure 11 Précision du débitmètre	51
Figure 12 Tube de pitot à 5 trous	52
Figure 13 Étalonnage de la sonde sphérique à cinq trous PROFIL_01	55
Figure 14 Étalonnage de la sonde sphérique à cinq trous PROFIL_02	57
Figure 15 Écran de modification des paramètres d'acquisition	62
Figure 16 Écran d'affichage des résultats	63
Figure 17 Position des capteurs pour STAB_OP	66
Figure 18 Courbe caractéristique du système, expérimental vs RESPIP	67
Figure 19 Position des sondages de Pitot	69
Figure 20 Angle α en fonction de la profondeur PROFIL_01	70
Figure 21 Angle β en fonction de la profondeur PROFIL_01	71
Figure 22 Vitesse en fonction de la profondeur PROFIL_01	72
Figure 23 Colline de rendement typique	75
Figure 24 Caractéristiques adimensionnelles de la turbine testée en fonction de ψ	76
Figure 25 Angle β en fonction de la profondeur PROFIL_02	77
Figure 26 Vitesse axiale en fonction de la profondeur PROFIL_02	78
Figure 27 Vitesse radiale en fonction de la profondeur PROFIL_02	78
Figure 28 Emplacements de la sonde dans l'écoulement	79
Figure 29 Dispersion des points d'opération d'un essai de rendement: C et H	89
Figure 30 Dispersion des points d'opération d'un essai de rendement: η , Q , N	90
Figure 31 Histogramme des points #10 à #13 et #23 à #27	92

Figure 32 Histogramme des mesures dynamiques du couple	94
Figure 33 Histogramme des mesures dynamiques de la chute	95
Figure 34 Histogramme des mesures dynamiques de la vitesse de rotation	96
Figure 35 Dispersion des moyennes de sous-échantillons, points #56 à #60	100
Figure 36 Dispersion des moyennes de sous-échantillons, points #66 à #70	101
Figure 37 Enveloppe d'opération du banc d'essai	103
Figure 38 Effet d'une filtration à 6.0 Hz sur le signal de couple	116

CHAPITRE 1

Introduction

L'introduction est divisée en deux sections. Dans la première, nous présenterons le contexte d'insertion de ce travail de maîtrise, ses objectifs et les moyens utilisés pour atteindre ces derniers. En second lieu, nous ferons un bref rappel de la théorie relative aux turbines hydrauliques.

1.1 Mise en situation et objectifs du mémoire

C'est dans le cadre de la mise au point et des premiers essais du banc d'essai de micro-turbines de l'Université Laval que s'est effectué ce travail de maîtrise. Il a pour objectifs:

- 1) d'étalonner le banc d'essai ;
- 2) d'analyser de manière critique les premiers résultats de mesure ;
- 3) de condenser l'information sur la mise en route du banc d'essai.

L'étalonnage est requis afin d'établir, dans un premier temps, la précision des mesures effectuées sur le banc et, dans un second temps, la zone de fonctionnement à l'intérieur de laquelle on peut tester des turbines. L'analyse critique des premiers résultats nous permettra, pour sa part, d'identifier les points à améliorer et de proposer de possibles améliorations. Finalement, en condensant l'ensemble de l'information sur la mise en route du banc d'essai, ce travail permettra aux personnes qui en poursuivront le développement d'avoir rapidement accès aux paramètres cruciaux de ces premières campagnes de mesures.

Les objectifs de ce travail ont été réalisés en appliquant un plan de travail déterminé qui se résume ainsi :

- revoir la littérature pertinente ;
- prendre connaissance de l'état d'avancement du projet de banc d'essai ;
- compléter l'installation du banc d'essai ;
- étalonner les instruments ;
- calculer l'erreur due aux instruments dans une lecture de rendement ;
- élaborer les protocoles d'essai ;
- programmer les systèmes d'acquisitions et de protection ;
- faire les essais de rendement d'une turbine et les autres essais requis ;
- analyser la cohérence des données et leurs caractéristiques statistiques ;
- établir la zone de fonctionnement du banc d'essai ;
- établir l'erreur expérimentale réelle du banc ;
- identifier les sources principales d'erreur ;

-chercher les causes fondamentales de ces erreurs et proposer des avenues possibles pour l'amélioration du banc.

1.2 Rappels théoriques

1.2.1 Types de turbines

Les turbines hydrauliques sont utilisées pour transformer la puissance hydraulique d'un cours d'eau en puissance mécanique d'abord et, généralement, en puissance électrique par la suite. On retrouve deux grandes familles de turbines. Les turbines à impulsion et les turbines à réaction. Les turbines à impulsion, comme les turbines Pelton, utilisent

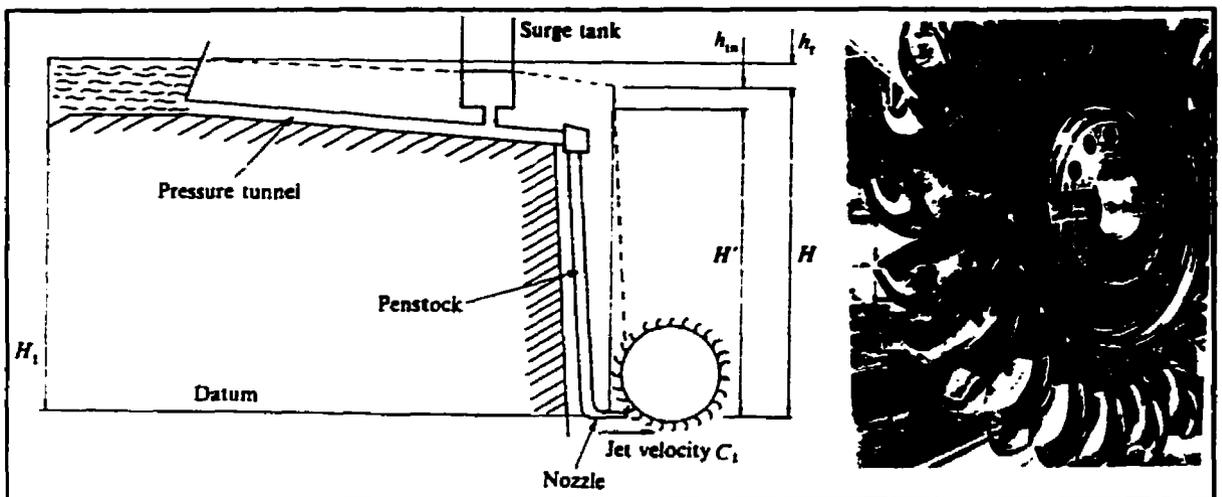


Figure 1 Schéma et photo d'une turbine Pelton.

l'énergie cinétique d'un jet à haute vitesse (Figure 1). Elles sont généralement utilisées pour de très hautes chutes et des débits relativement faibles. On les retrouve habituellement sur des chutes de plus 60 m. Les turbines à réaction, comme les turbines Francis (écoulement radial) et les turbines Kaplan (écoulement axial), utilisent une action combinée de l'énergie de pression et de l'énergie cinétique. Les turbines Kaplan, de même que les autres modèles de turbine à hélice, sont utilisées pour des chutes faibles, mais ayant des débits élevés en rapport à la chute (Figure 2). On les retrouve sur des chutes inférieures à 50 m et même très souvent sur des chutes inférieures à 30 m. Quant aux Francis, elles sont surtout utilisées sur des chutes intermédiaires avec des débits importants. On les retrouve en majeure partie sur des chutes entre 20 m et 80 m (Figure 3).

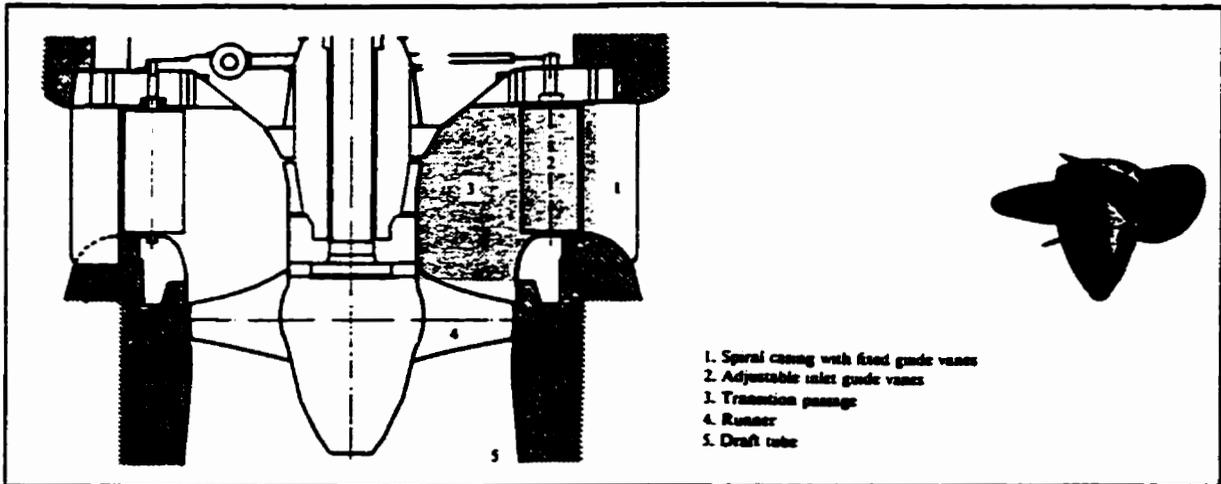


Figure 2 Schéma et photo d'une turbine Kaplan.

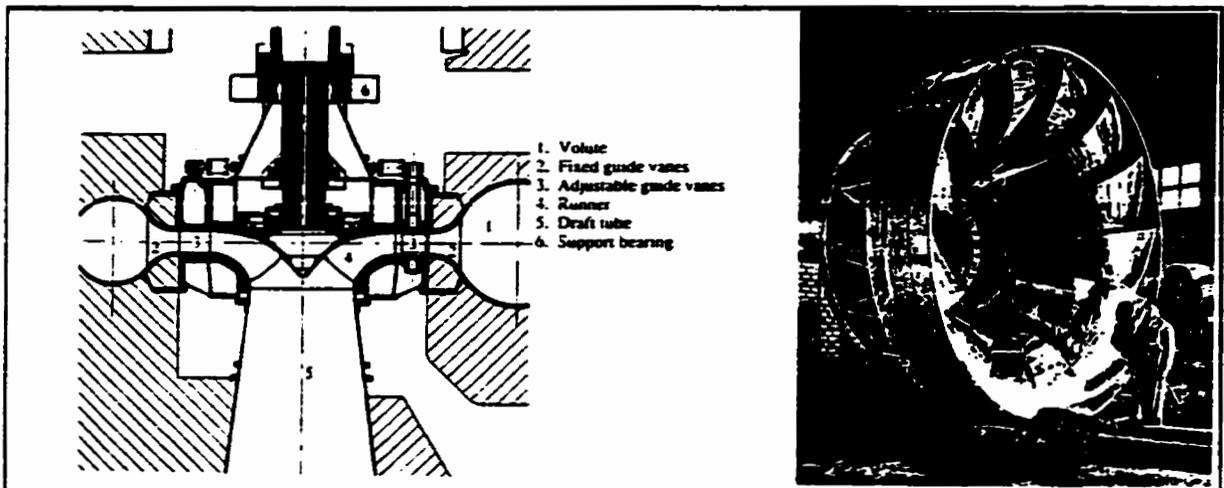


Figure 3 Schéma et photo d'une turbine Francis.

Indépendamment du type de turbine toutefois, le transfert d'énergie s'effectue toujours au moyen d'un changement de la quantité de mouvement du fluide. Dans le cas qui nous intéresse, nous regarderons plus précisément une turbine axiale. Pour comprendre ce transfert, il suffit d'observer les vitesses à l'entrée et à la sortie d'une pale de turbine axiale (Figure 4). On estime donc l'énergie transférée par unité de poids du fluide selon l'équation suivante, dans laquelle la composante radiale de la vitesse en sortie est idéalement nulle ($C_{r2} = 0$):

$$H = U \frac{(C_{u1} - C_{u2})}{g} \left(\frac{J}{N} \right) \text{ ou (m)} \quad (1)$$

D'autre part, le changement de la quantité de mouvement est intimement relié à la circulation Γ autour du profil des pales de la turbine, et de ce fait, à la portance de celles-ci. Il devient alors évident que les conditions de l'écoulement à l'entrée auront une importance marquante sur les performances de la turbine. C'est effectivement pour cette raison que les turbines sont généralement conçues pour un site spécifique et une plage d'opération relativement restreinte et bien déterminée.

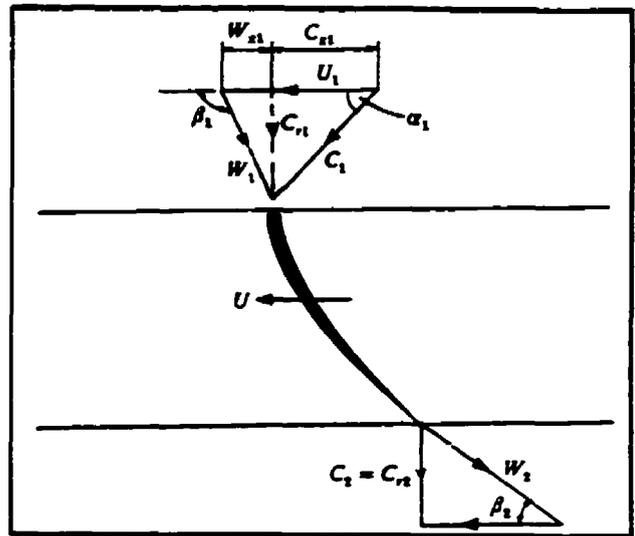


Figure 4 Triangles de vitesse d'une turbine axiale.

1.2.2 Calcul du rendement

L'énergie disponible d'un site hydro-électrique se calcule de la même manière pour tous les types de turbines. Elle est obtenue par la différence d'énergie potentielle entre un réservoir amont, où l'on puise un débit d'eau, et un réservoir aval, où on le restitue.

Considérons d'abord l'eau comme un fluide incompressible et non visqueux. Considérons aussi un écoulement permanent et irrotationnel sans échange avec l'extérieur. Pour un tel écoulement, l'équation d'énergie de Bernoulli s'applique entre 2 points situés sur une même ligne de courant ϕ . Cependant, l'hypothèse d'un fluide non visqueux n'est pas applicable dans le cas qui nous concerne. On doit alors introduire un terme de pertes visqueuses $H_{\phi f}$ dans l'équation de Bernoulli. Ainsi, l'équation (2) démontre que, mises à part les pertes,

$$\frac{V_{\phi 1}^2}{2g} + \frac{P_{\phi 1}}{\rho g} + Z_{\phi 1} = \frac{V_{\phi 2}^2}{2g} + \frac{P_{\phi 2}}{\rho g} + Z_{\phi 2} + H_{\phi f} = \text{Constante} \quad (2)$$

les énergies potentielle, cinétique et de pression se conservent le long d'une ligne de courant. L'équation est vraie pour toutes les lignes de courant qui composent l'écoulement d'une conduite quelconque. On peut donc formuler de nouveau l'équation pour l'écoulement global, en utilisant des variables globales :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + Z_2 + H_f = \text{Constante} \quad (3)$$

Néanmoins, dans le cas d'une turbine, une partie de l'énergie est retirée du système. De ce fait, on introduit un terme de chute nette H_n de manière à évaluer l'énergie disponible pour la turbine, équation (4).

On voit à la Figure 5 le schéma d'une centrale hydro-électrique. L'énergie disponible est

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\rho g} + Z_3 + H_f + H_n \quad (4)$$

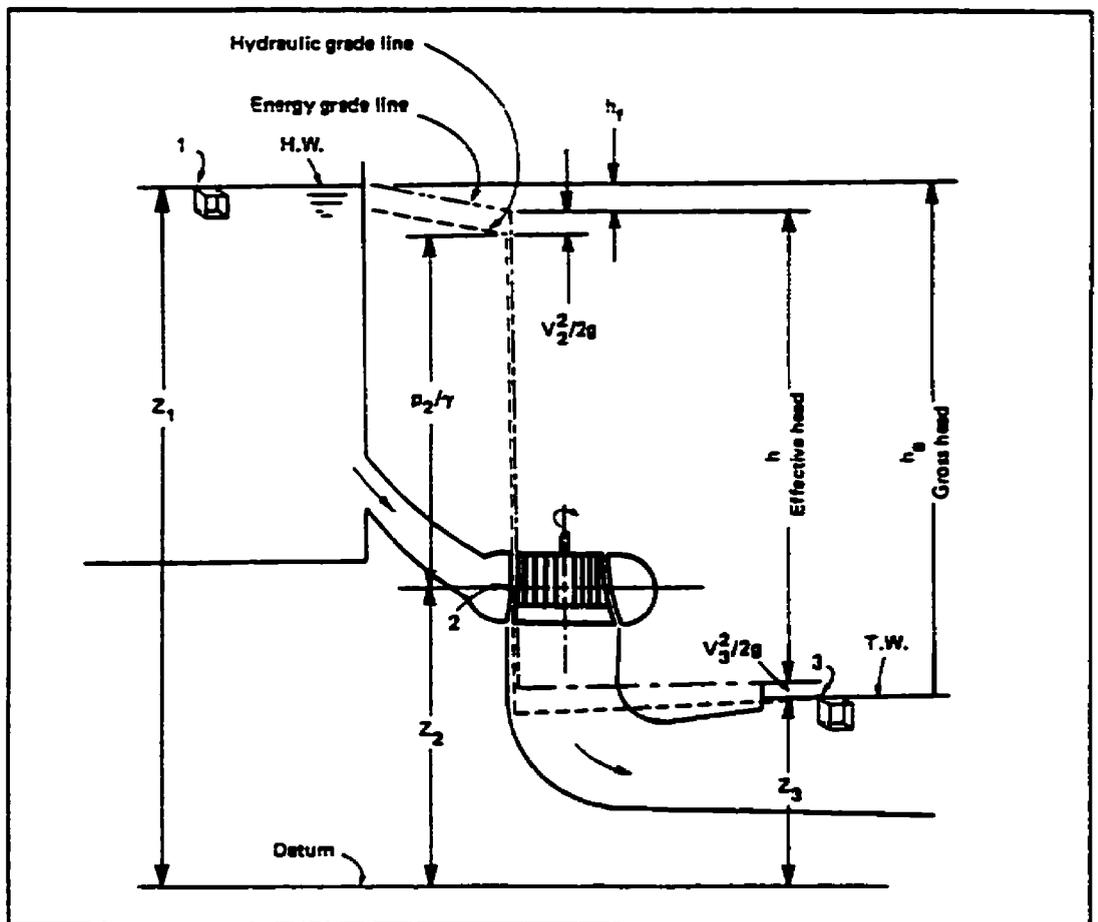


Figure 5 Diagramme d'énergie d'une centrale hydro-électrique

donc calculée entre les réservoirs amont et aval, soit entre les points 1 et 3 sur la figure.

On peut alors poser quelques hypothèses simplificatrices. Tout d'abord, sachant que les pressions p_1 et p_3 sont égales à la pression atmosphérique et que la vitesse d'un élément de fluide au point 1, suffisamment loin de la prise d'eau, est pratiquement nulle ($V_1 = 0$), on obtient l'équation (5) qui exprime la chute nette.

$$H_n = Z_1 - Z_3 - \frac{V_3^2}{2g} - H_f \quad (\text{m ou J/N}) \quad (5)$$

Cette équation représente l'énergie disponible par unité de poids du fluide. Si l'on considère le débit massique de l'eau (ρQ) pour l'ensemble des lignes de courant passant du point 1 au point 3 sous l'effet de la gravité g , on obtient la puissance disponible à la turbine. La valeur ainsi calculée est la puissance hydraulique nette P_{hyd} .

$$P_{hyd} = \rho g H_n Q \quad (\text{Watts}) \quad (6)$$

Dans le cadre de l'évaluation du rendement d'une turbine, on doit aussi calculer la puissance mécanique produite par celle-ci. On l'obtient par la mesure du couple C produit et de la vitesse de rotation ω de la turbine.

$$P_{mec} = \omega C \quad (\text{W}) \quad (7)$$

On obtient la valeur du rendement η par le rapport entre l'énergie mécanique produite par la turbine et l'énergie hydraulique disponible dans l'écoulement. Soit le rapport entre les équations (7) et (6).

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{hyd}} = \frac{\omega C}{\rho g H_n Q} \quad (8)$$

En évaluant les erreurs sur chacune des grandeurs mesurées de l'équation (8), on pourra établir l'erreur globale mesurée sur le rendement. Le calcul d'erreur sera traité plus en détail au chapitre 3.

1.2.3 Paramètres adimensionnels

Comme dans plusieurs domaines de recherche, on aura recours à des variables réduites de manière à restreindre le nombre de paramètres à étudier et à permettre des comparaisons entre des turbines physiquement différentes à prime abord. Plusieurs paramètres ont été définis par différents chercheurs et organismes [1], [3]. Certains systèmes sont basés sur une chute et un diamètre unitaire de turbine, alors que d'autres sont basés sur une vitesse et un diamètre unitaire de turbine. Dans ces systèmes, on retrouve quatre paramètres. Soit, dans le cas du système chute et diamètre, un paramètre de vitesse, un de débit, un de couple et un de puissance. Dans le second système, vitesse et diamètre, le paramètre de vitesse est remplacé par un paramètre d'énergie. Indépendamment de ces systèmes, on définit un cinquième paramètre: la vitesse spécifique. Bien qu'il prenne différentes formes, il présente toujours un ratio entre la racine carrée du débit et la racine trois quart de l'énergie. La Table I, à la page suivante, montre la définition des différents paramètres utilisés.

1.2.4 Cavitation

La cavitation se produit habituellement sur les faces des pales de turbines lorsque la pression statique locale, suite à l'augmentation de vitesse et à la perte de pression totale, descend en deçà de la pression de vapeur de l'eau. Des bulles de vapeur se forment alors près de l'aube pour se briser violemment un instant après lorsque la pression locale augmente en approchant du bord de fuite. La cavitation est un phénomène très dommageable pour les turbines et doit être évitée. Considérant un point 2 au coeur de la turbine avec une pression p_2 égale à la pression de vapeur de l'eau p_{vap} et un point 3, à la pression atmosphérique, situé en surface du canal de fuite de la turbine, on définit l'index de cavitation σ (chiffre de Thomas) en utilisant de nouveau l'équation de Bernoulli [12].

$$\sigma = \frac{\frac{V_2^2 - V_3^2}{2g} - H_f + \frac{p_{atm} - p_{vap}}{\rho g} - Z_2}{H} \quad (9)$$

Table 1 Paramètres adimensionnels

Grandeur	Sym	Définition	Correspondance	Sym	Définition	Correspondance	Sym	Définition	Correspondance
Systèmes basés sur une énergie et un diamètre de turbine unitaires									
Vitesse	n_{ω}	$\frac{ND}{E^{1/2}}$	$-\frac{1}{E_{\omega}^{1/2}}$	n_{11}	$\frac{ND}{H^{1/2}}$	$-60\sqrt{g} n_{\omega}$	K_v	$\frac{\omega R}{(2E)^{1/2}}$	$-\frac{\pi}{\sqrt{2}} n_{\omega}$
Débit	Q_{ω}	$\frac{Q}{D^3 E^{1/2}}$	$-\frac{Q_{\omega}}{E_{\omega}^{1/2}}$	Q_{11}	$\frac{Q}{D^3 H^{1/2}}$	$-\sqrt{g} Q_{\omega}$	K_{Qm}	$\frac{Q}{\pi R^2 (2E)^{1/2}}$	$-\frac{\sqrt{g}}{\pi} Q_{\omega}$
Couple	T_{ω}	$\frac{T}{\rho D^3 E}$	$-\frac{T_{\omega}}{E_{\omega}}$	T_{11}	$\frac{T}{D^3 H}$	$-\rho g T_{\omega}$	K_T	$\frac{T}{\rho \pi R^2 E}$	$-\frac{g}{\pi} T_{\omega}$
Puissance	P_{ω}	$\frac{P_m}{\rho D^3 E^3}$	$-\eta Q_{\omega} - \frac{P_{\omega}}{E_{\omega}^3}$	P_{11}	$\frac{P_m}{D^3 H^3}$	$-\rho g^3 P_{\omega}$	K_T	$\frac{2P_m}{\rho \pi R^2 (2E)^{3/2}}$	$-\frac{\sqrt{g}}{\pi} P_{\omega}$
Systèmes basés sur une vitesse et un diamètre de turbine unitaires									
Énergie	E_{ω}	$\frac{E}{\pi^2 D^2}$	$-\frac{1}{E_{\omega}}$	ψ	$\frac{2E}{(\omega R)^2}$	$-\frac{2}{\pi^2} E_{\omega}$	n_{ω}	$\frac{NQ^{1/2}}{E^{3/4}}$	$-\frac{NQ^{1/2}}{E_{\omega}^{3/4}}$
Débit	Q_{ω}	$\frac{Q}{ND^3}$	$-\frac{Q_{\omega}}{E_{\omega}}$	ϕ	$\frac{Q}{\pi \omega R^3}$	$-\frac{4}{\pi^2} Q_{\omega}$	v	$\frac{\omega Q^{1/2}}{\pi^{1/2} (2E)^{3/4}} - \frac{\phi^{1/2}}{\psi^{3/4}}$	$-\frac{2^{1/4} \phi^{1/2} n_{\omega}}{\pi^{1/2} Q_{\omega}}$
Couple	T_{ω}	$\frac{T}{\rho \pi^2 D^3}$	$-\frac{T_{\omega}}{E_{\omega}}$	τ	$\frac{2T}{\rho \pi \omega^3 D^3}$	$-\frac{16}{\pi^3} T_{\omega}$	n_{ω}	$\frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}}$	$-60g^{3/4} n_{\omega}$
Puissance	P_{ω}	$\frac{P_m}{\rho \pi^2 D^3}$	$-\eta E_{\omega} Q_{\omega} - \frac{P_{\omega}}{E_{\omega}^3}$	λ	$\frac{2P_m}{\rho \pi \omega^3 R^3}$	$-\frac{8}{\pi^4} P_{\omega}$	ω_1	$\frac{\omega Q^{1/2}}{E^{3/4}}$	$-\frac{2\pi n_{\omega}}{30g^{3/4}} - \frac{\pi}{30g^{3/4}} n_{\omega}$

L'index de cavitation est déterminé expérimentalement sur des turbines modèles et on l'utilise par la suite pour déterminer la hauteur d'installation maximum d'une turbine pour différents sites. En plus des grandeurs physiques qui apparaissent dans cette équation, la cavitation est influencée par la teneur de l'eau en air dissout, par la température de l'eau, par la présence de micro-bulles d'air et par la dimension de ces dernières. Pour plus d'information, on peut consulter le volume La Cavitation publié chez Collection Grenoble Sciences [21].

CHAPITRE 2

Banc d'essai de micro-turbines

Le présent chapitre est consacré à la description du banc d'essai de micro-turbines de l'université Laval. Nous verrons d'abord les critères de base qui ont été utilisés lors de sa conception. Puis, nous présenterons les infrastructures qui le composent. Nous discuterons ensuite de l'instrumentation utilisée pour les mesures de rendement. Finalement, nous présenterons les systèmes de contrôle, de protection et d'acquisition de données qui complètent le matériel nécessaire à la bonne marche du banc d'essai.

2.1 Paramètres de base

La présente section décrit les paramètres de base qui ont servi à dimensionner le banc d'essai.

La principale norme de référence dans le domaine des essais de modèles de turbines est la publication 193 [1] de la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) parue en 1965 et son complément 193A [2]. En 1991, l'AFNOR, organisme de normalisation français, proposait une norme concernant les essais sur plate-forme des turbines de petite puissance (NF E 44-501) [3]. On trouve aussi de nombreuses informations pertinentes dans les publications de différents organismes [4], ... [10], tels l'EPFL, GE, Vevey et d'autres, qui ont réalisé des bancs d'essais.

Les paramètres de base pour caractériser une turbine sont habituellement le débit Q , la chute H , la vitesse de rotation ω et le diamètre D . Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, chaque turbine présente des caractéristiques différentes. Ainsi, des paramètres adimensionnels normalisés sont utilisés pour les classer et les comparer.

Le coefficient adimensionnel de débit unitaire Q_{ED} est défini comme le débit qu'aurait une turbine géométriquement similaire au prototype, mais ayant un diamètre unitaire ($D = 1$ m) et étant soumise à une énergie unitaire ($gH = 1$ m²/s²).

$$Q_{ED} = \frac{Q}{(\sqrt{gH})D^2} \quad (10)$$

Chaque type de turbine à réaction présente sa propre gamme de débits unitaires Q_{ED} . Des valeurs approximatives de ces gammes sont résumées à la table Table II. Alors, pour réaliser un banc d'essai universel, on doit couvrir une gamme de débits unitaires allant d'un minimum $Q_{ED} = 0.05$ à un maximum $Q_{ED} = 1.5$.

D'un autre côté, la publication 193 de la CEI [1] recommande un diamètre minimum de 0.25 m pour une turbine modèle. Cette dimension minimale est prescrite afin de réduire l'effet d'échelle et ainsi assurer une précision et une qualité suffisante dans la réalisation

du modèle. Notons que cette norme alloue une erreur globale de $\pm 0.1\%$ sur les mesures de rendement, d'où la grande importance de la qualité de réalisation du modèle.

La norme CEI spécifie aussi un nombre de Reynolds ($Re = D (2gH)^{0.5} / \nu$) minimum afin de pouvoir considérer les essais indépendants de la viscosité. Soit $Re \geq 2.5 \times 10^6$ pour les turbines Francis et $Re \geq 2.0 \times 10^6$ pour les turbines axiales. Pour une viscosité cinématique de $\nu = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, on obtient donc les caractéristiques présentées à la Table III. On peut voir qu'un diamètre plus petit implique une chute minimum plus haute. Ce qui, dans les faits, limite la valeur minimum de chute que l'on doit présenter à la turbine. Pour des débits élevés, cette règle devient significative pour le choix de la pompe du banc d'essai.

Table II Gamme de débit unitaire, turbines à réaction

Francis de Haute Chute	$0.05 < Q_{ED} < 0.14$
Francis de Basse Chute	$0.30 < Q_{ED} < 0.50$
Hélice (turbine axiale à pale fixe)	$0.40 < Q_{ED} < 0.50$
Kaplan (turbine axiale à pale variable)	$0.20 < Q_{ED} < 0.70$
Bulbe (turbine Kaplan de très basse chute)	$0.16 < Q_{ED} < 1.50$

Table III Chute et diamètre minimum (Code IEC)

Francis: $Re \geq 2.5 \times 10^6$	$D = 0.5 \text{ m}$	$H = 1.3 \text{ m}$
	$D = 0.25 \text{ m}$	$H = 5.1 \text{ m}$
Axiale: $Re \geq 2.0 \times 10^6$	$D = 0.5 \text{ m}$	$H = 0.8 \text{ m}$
	$D = 0.25 \text{ m}$	$H = 3.3 \text{ m}$

La norme française AFNOR [3] pour les plates-formes de micro-turbines recommande des diamètres et des nombres de Reynolds ($Re = \omega D^2 / \nu$) différents (Table IV).

Table IV Valeurs d'essais minimum (norme AFNOR)

	Kaplan, Hélice	Dériaz (Semi-axiale)	Francis
Nombre de Reynolds Re	4×10^6	4×10^6	4×10^6
Chute nette H [m]	3	5	10
Diamètre de référence D [m]	0.300	0.300	0.250

Cette norme présente aussi une erreur globale maximum pour différentes classes d'essais (Table V). La classe A est utilisée pour les essais sur modèles, la classe B pour les essais de prototypes et la classe C pour les essais de machines industrielles. Ces spécifications sont moins restrictives que celles de la norme CEI.

Table V Erreurs maximum permises (norme AFNOR)

Variables Mesurées	Classe A	Classe B	Classe C
Débit (Q)	$\pm 0.3\%$	$\pm 0.7\%$	$\pm 1.5\%$
Énergie hydraulique (gH)	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.8\%$
Puissance (P)	$\pm 0.4\%$	$\pm 0.8\%$	$\pm 1.2\%$
Rendement (η)	$\pm 0.6\%$	$\pm 1.4\%$	$\pm 2.0\%$
Vitesse de rotation (ω)	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.3\%$

Ces considérations sont suffisantes pour déterminer les dimensions et les caractéristiques globales de la boucle d'essai. Le débit maximum et la chute doivent répondre à la norme CEI. Ceci donnera la possibilité dans le futur de parfaire la boucle sans être obligé de changer la pompe. La précision devrait atteindre au moins la norme AFNOR, classe A. Atteindre la précision prescrite par la norme CEI dépend en grande partie de la capacité d'étalonner le débitmètre sur le site. Nous considérons, dans un premier temps, qu'il ne s'agit pas là d'une priorité pour l'essai de micro-turbines. On peut alors résumer les principaux critères de conception de la boucle comme suit :

- Un débit unitaire maximum de $Q_{ED} = 1.5$ comme le montre la Table II pour les turbines bulbes ;
- Un débit maximum répondant aux conditions minimum de la Table III, soit un débit de $Q_{max} = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une turbine axiale de 0.5 m de diamètre ;
- Les principales spécifications de précision pour les essais de classe A de la norme AFNOR sont de $\pm 0.3\%$ sur le débit et de $\pm 0.6\%$ sur le rendement.

2.2 Infrastructures

Le banc d'essai est présenté schématiquement à la Figure 6. Il s'agit d'une boucle ouverte. L'eau est directement pompée du bassin principal. Cet arrangement permet d'avoir une boucle courte tout en évitant le risque d'un échauffement excessif, ce qui pourrait se produire dans une boucle fermée trop courte. L'eau est alors acheminée dans une section droite de diamètre réduit où le débitmètre est installé. L'eau circule par la suite à travers la cuve de stabilisation puis dans la section d'essai, où la turbine est positionnée, et retourne finalement au réservoir principal en passant par une vanne de contrôle et un diffuseur conique. La boucle est conçue pour supporter une pression d'opération de 100 m H₂O.

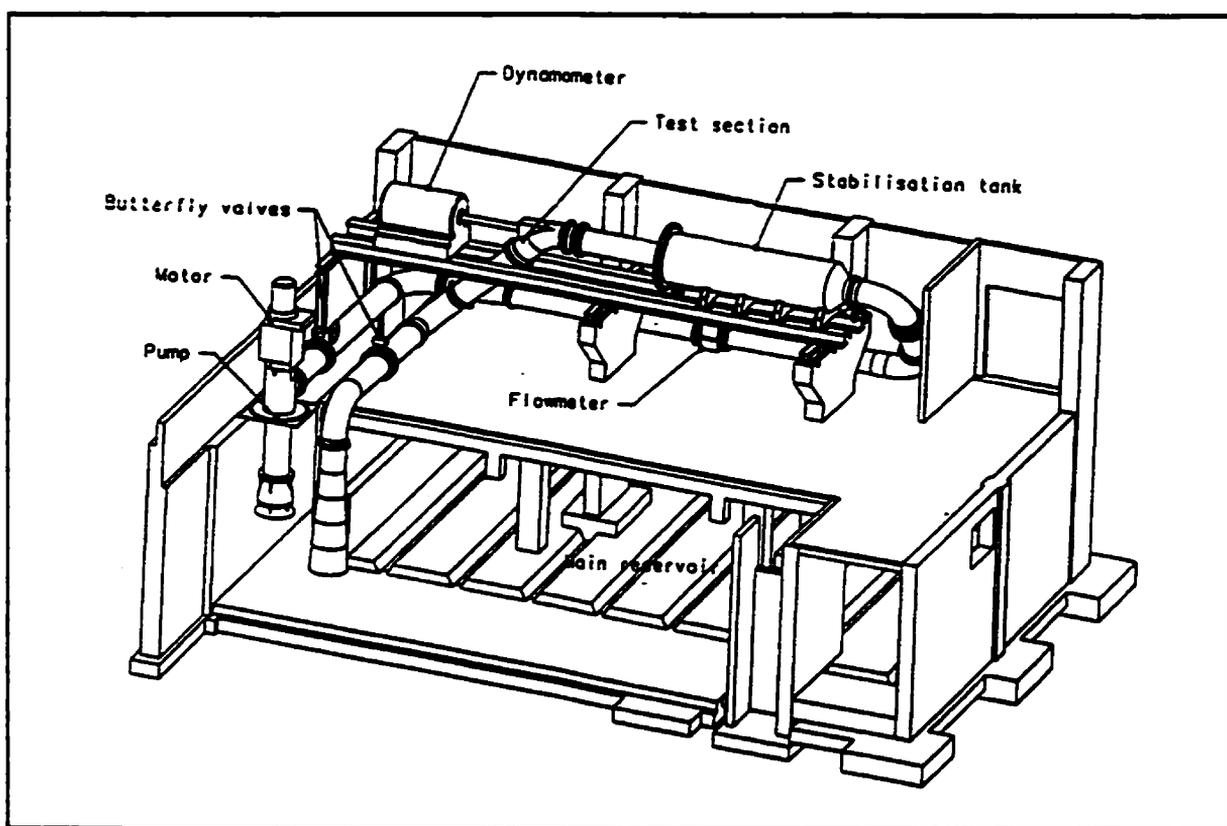


Figure 6 Banc d'essai

La section d'essai, la cuve de stabilisation et le dynamomètre sont montés sur deux poutres d'acier parallèles qui reposent sur deux piliers de béton ancrés sur le plancher du sous-sol du bâtiment.

2.2.1 Composantes principales du banc d'essai

Les principales composantes du banc d'essai se résument comme suit :

- 1600 m² de plancher sur deux niveaux ;
- 1 réservoir d'eau en béton de 350 m³ ;
- 1 pompe semi-radiale au-dessus du réservoir principal ayant un débit maximum de 1 m³/s ;
- 1 moteur de 260 kW (350 hp) à fréquence variable pour entraîner la pompe ;
- 1 dynamomètre à courant de Foucault de 225 kW à 2000 rpm avec un couple nominal de 1075 Nm. Cet équipement a été récupéré d'un laboratoire inutilisé ;
- 1 cuve de stabilisation de 1.22 m de diamètre et de 4 m de long. La cuve est munie d'un cône perforé ayant pour but d'établir un écoulement axisymétrique et de prévenir la formation de tourbillons en amont du modèle. Cette cuve origine elle aussi d'un ancien laboratoire ;
- 2 valves papillon, dont une motorisée, qui permettent de contrôler la pression en aval de la turbine et les pertes globales de la boucle ;
- 26 m de tuyaux d'acier ayant un diamètre de 0.508 m (20 in.). Le débit y circulant étant de 1 m³/s, ce diamètre produit une vitesse maximum de l'eau de 5 m/s. Cette vitesse est généralement acceptée en regard des pertes de charge dans la tuyauterie. Tous les coudes à 90° sont équipés d'une plaque guide pour redresser l'écoulement. Des joints "Vitaulic" ont été installés à des endroits stratégiques pour faciliter l'assemblage et le démontage de la tuyauterie ;
- 6 m de tuyau d'acier avec un diamètre de 0.406 m (16 in.). Cette section plus petite augmente la vitesse maximale de l'eau traversant le débitmètre à 7.6 m/s (voir la section 2.2.2 au paragraphe sur le débitmètre).

2.2.2 Instrumentation

Comme nous l'avons vu avec l'équation (8), six grandeurs principales sont mesurées pour évaluer les courbes de rendement d'une turbine. Les quatre premières, le débit Q , la chute nette H au travers de la turbine, la température de l'eau T (pour l'évaluation de la densité ρ) et la constante gravitationnelle locale g , sont requises pour calculer la puissance

hydraulique P_{hyd} . Les deux autres, le couple C et la vitesse angulaire ω , sont impliquées dans l'estimation de la puissance mécanique $P_{\text{méc}}$.

La mesure de la pression atmosphérique est requise dans certains calculs de pression comme nous le verrons plus loin. Comme pour la température ambiante, la teneur en air dissout, l'intensité de la cavitation et les profils de vitesses, la pression atmosphérique sont aussi utilisés pour qualifier l'environnement de la turbine et permettre la comparaison de résultats. La valeur de g_l a été mesurée par le laboratoire de métrologie du département de foresterie ; elle est de 9.80749 m/s^2 . Cette valeur n'a pas à être mesurée lors de chaque expérimentation.

Les paragraphes qui suivent décrivent l'instrumentation sélectionnée pour mesurer les cinq grandeurs principales (Q , H , T , C , ω) et, d'une manière plus superficielle, les autres instruments utilisés pour contrôler et protéger la boucle. L'annexe A contient l'information essentielle pour chaque instrument.

Débitmètre électromagnétique

La précision du débitmètre est habituellement déterminante dans la précision globale d'un essai de rendement. Nous avons donc sélectionné un débitmètre "Magmaster MFE-401" de "ABB Instrumentation" qui a une précision de $\pm 0.2\%$ à la sortie de l'usine. Notons que cette précision est légèrement supérieure à la spécification de classe A de la norme AFNOR, présentée à la Table V. Le principe de fonctionnement de cet instrument est le suivant : un conducteur (ici de l'eau), se déplaçant dans un champ magnétique, produit un courant électrique. Le courant enregistré étant proportionnel à la vitesse du conducteur et à l'intensité du champ magnétique, l'appareil peut être étalonné pour donner le débit.

Cet instrument est bien adapté à notre utilisation du fait qu'il ne cause aucune restriction et est très précis sur une large gamme de débit (de 7% à 100% de son débit maximum). De plus, les débitmètres électromagnétiques sont généralement moins sensibles aux perturbations de l'écoulement que les autres débitmètres. Pour autant que. Néanmoins, deux facteurs doivent être traités avec attention : la vitesse de l'eau et les champs magnétiques externes. En fait, l'erreur commise par l'instrument s'accroît rapidement lorsque la vitesse

de l'eau descend en-dessous de 0.8 m/s. C'est pour cela qu'on trouve une réduction du diamètre de la tuyauterie dans la section du débitmètre (de 0.508 m à 0.406 m). Ce rétrécissement permet un débit aussi bas que 0.1 m³/s sans dépasser la limite inférieure de vitesse. Les champs magnétiques externes peuvent perturber le courant d'excitation du débitmètre et de ce fait altérer le signal produit. Aucun champ magnétique susceptible d'affecter notre instrument n'a été détecté.

Mesures de pression et balances digitales

La précision est généralement plus facile à obtenir pour la mesure de la pression que pour le débit. À l'origine, pour la mesure de la chute nette H , nous avons choisi deux balances digitales "séries 21000m" de "DH Instruments", avec une tête de mesure appropriée pour chacune. Ces balances ayant une très grande précision, elles ont par la suite surtout été utilisées comme référence dans l'étalonnage des autres capteurs de pression.

Les balances fonctionnent comme suit : la pression du fluide est appliquée à une extrémité d'un piston. Ce piston pousse une tige au travers d'un cylindre rotatif qui élimine la friction. La tige applique alors une force proportionnelle à la pression directement sur une balance digitale de haute précision. La surface calibrée du piston détermine le ratio entre la pression appliquée à la tête et la force transférée à la balance.

Pour la pression amont, nous avons choisi une tête "410" (gamme de 0 à 0.83 MPa) offrant une précision de 41.5 Pa + 0.01% de la lecture. Pour la pression aval, nous avons sélectionné une tête "710", qui permet de mesurer des pressions négatives (gamme de -0.1 à 0.5 MPa) avec une précision de 30 Pa + 0.01% de la lecture. Cette configuration permet de mesurer la pression aval absolue, lorsque des essais de cavitation pourront être faits, tout en offrant une précision de l'ordre de 0.04% sur la valeur de la chute nette obtenue par soustraction des deux lectures. En effet, pour une chute de 15 m (146 855.7 Pa) avec une chute amont de 13m et une chute aval -2m, on a :

$$\epsilon_{p1} = (41.5 + 14.7) \text{ Pa} = 56.2 \text{ Pa}$$

$$\epsilon_{p2} = (30.0 + 2.1) \text{ Pa} = 32.1 \text{ Pa}$$

$$\epsilon_{p1-p2} = \sqrt{\epsilon_{p1}^2 + \epsilon_{p2}^2} = 64.7 \text{ Pa} = 0.044\%$$

(11)

Cependant, pour les premiers essais que nous avons faits, et dont il est question dans ce travail, la chute nette H a été mesurée à l'aide d'un capteur différentiel "Rosemount 1151DP6". Ce capteur offre une précision à la sortie de l'usine qui est suffisante pour l'atteinte de nos objectifs, soit $\pm 0.2\%$, et une réponse dynamique beaucoup plus rapide que les balances. Cette précision peut être améliorée par un étalonnage adéquat, comme nous le verrons au chapitre 3.

Capteur de température

La densité de l'eau varie de 1000 kg/m^3 à 992 kg/m^3 entre 0 et $40 \text{ }^\circ\text{C}$, soit une variation de 0.02% pour $1 \text{ }^\circ\text{C}$ de différence. Un RTD (Resistance Temperature Detector) est utilisé pour mesurer la température de l'eau. Il montre une précision de $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$. L'erreur estimée sur la densité de l'eau est donc d'environ $\pm 0.002\%$. Pour obtenir cette précision on doit cependant s'assurer qu'un régime permanent est établie à l'intérieur de la boucle d'essai et que la température de l'eau est stabilisée.

Cellule de charge

Un dynamomètre à courant de Foucault est utilisé pour dissiper le couple mécanique produit par la turbine sous essai. Son bâti est monté librement sur deux paliers. Le couple est transmis à une cellule de charge "ARIES DBB-U-200KG" par un levier de 0.4572 m de long.

La cellule retourne un courant proportionnel à la charge appliquée. Comme la cellule est située au bout d'un levier d'une longueur connue, on peut en étalonner le signal pour mesurer directement le couple. La précision estimée est de $\pm 0.05\%$ après étalonnage.

Encodeur optique

La vitesse de rotation de la turbine est mesurée par un encodeur optique "Line + Linde" produisant 2048 pulsations par révolution.

Le temps utilisé pour mesurer la vitesse de rotation moyenne peut être théoriquement aussi long qu'on le veut. L'erreur étant toujours d'une pulsation pour l'encodeur, la précision peut alors être aussi grande que nécessaire sans égard quant à l'appareil choisi. Cependant, nous avons choisi un encodeur de grande résolution qui permettra de garder la vitesse de la turbine constante au moyen d'une boucle d'asservissement. Le temps de réaction d'une turbine modèle est d'environ 0.5 s. Alors, le temps requis pour compléter toutes les opérations de contrôle, incluant la mesure de la vitesse, devrait être inférieur au temps de réaction de la turbine. Notre expérience nous montre qu'un temps de mesure environ 10 fois plus petit permet un contrôle adéquat de la boucle. Pour une vitesse de 1000 rpm et un temps de mesure de 0.05 s, on a une erreur de une pulsation sur 1707, correspondant à une erreur de $\pm 0.06\%$ pour l'encodeur.

$$\epsilon_N = \frac{60\text{s/min}}{1000\text{rpm} * 2048\text{puls./rot} * 0.05\text{s}} = \frac{1}{1706.7} \approx 0.06\% \quad (12)$$

Notons qu'il s'agit ici de la précision obtenue pour la boucle d'asservissement en tenant compte de la vitesse de réaction requise. La mesure de vitesse pour l'évaluation du rendement peut se faire en parallèle en utilisant un temps de mesure différent. Ainsi un temps de mesure de 0.1 seconde nous donnera une précision de 0.03% pour le calcul du rendement

Autres instruments

Les autres instruments n'étant pas de première importance pour l'étalonnage et l'erreur globale sur la mesure du rendement, nous nous contenterons ici de les énumérer. On trouvera tout de même leurs caractéristiques techniques à l'annexe A.

- 4 capteurs de pression pour mesurer différentes pressions sur la boucle ;
- 2 hydrophones B&K pour mesurer les ultrasons et détecter la présence de cavitation sur la turbine et la pompe ;
- 1 analyseur d'air dissout pour mesurer le pourcentage d'air contenu dans l'eau ;
- 1 sonde de pression à 5 trous développée dans nos laboratoires pour mesurer les profils de vitesse ;
- 1 RTD (Resistance Temperature Detector) pour mesurer la température ambiante.

2.2.3 Systèmes de contrôle, de protection et d'acquisition

Toutes les opérations de contrôle et d'acquisition liées à la boucle d'essai sont automatisées. Le contrôle et la protection de la boucle sont exécutés par un automate industriel ou PLC (Programmable Logic Controller), alors que, l'acquisition de données est effectuée par un système VXI relié à un ordinateur personnel par un lien GPIB.

Système de contrôle et de protection

Le PLC est utilisé pour contrôler et assurer un fonctionnement sécuritaire des installations d'essais. Ses principales fonctions sont :

- exécuter des procédures de démarrage et d'arrêt sécuritaires ;
- surveiller le moteur, la pompe et la turbine modèle ;
- appliquer la procédure d'arrêt d'urgence ;
- contrôler la tête d'eau présentée à l'entrée de la turbine ;
- réguler la vitesse de rotation de la turbine. La régulation de la turbine devant se faire dans un délai très court (≈ 0.05 s), on utilise un circuit indépendant pour la régulation. L'automate reste toutefois responsable de la consigne de vitesse que ce circuit doit contrôler ;
- offrir à l'opérateur une interface usager conviviale ;
- prendre en charge la gestion des alarmes.

Pour atteindre les performances requises, un automate "TEXAS INSTRUMENT" modèle "545" a été choisi. Ses caractéristiques sont présentées à la Table VI.

Table VI Caractéristiques du PLC TI545

CPU	68020
Temps d'échantillonnage	2.2 ms /K éch.
Entrées/sorties numériques	32 opto-isolées
Entrées/sorties analogiques	8 entrée/sorties de 12 bits
Compteur à haute vitesse	2: vitesses pompe et turbine

L'interface est bâtie autour d'un PC 486 à l'aide du logiciel de console opérateur "PCIM" de "AFCON". Il s'agit d'un code orienté objet fonctionnant sous l'environnement "MS WINDOWS". La Figure 7 montre un exemple de console opérateur pour l'essai d'une turbine axiale. L'interface opérateur est hautement conviviale et le groupe logiciel "PCIM"

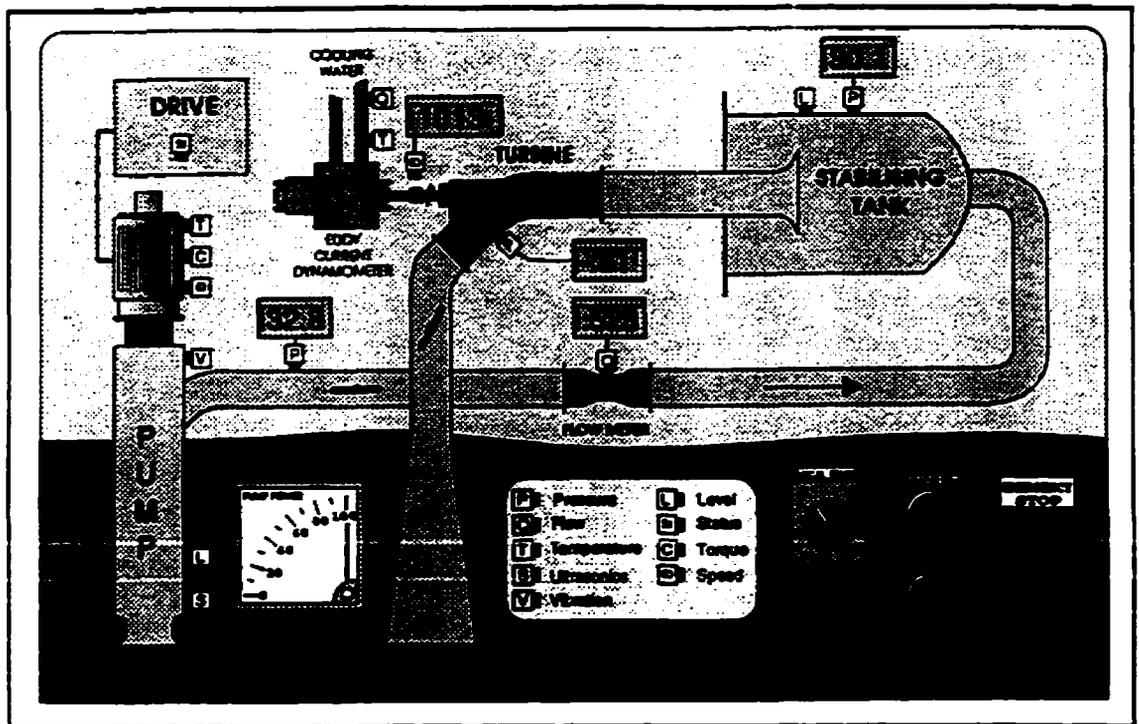


Figure 7 Console opérateur de l'automate

inclut une base de données qui peut échanger des informations avec d'autres logiciels windows.

Pour obtenir un maximum de flexibilité, des modes d'opération local et à distance ont été inclus. En mode local, tout le banc d'essai est contrôlé au moyen de l'interface opérateur du PLC. Les fonctions de démarrage et d'arrêt sont activées au moyen de la souris. La consigne de vitesse de la turbine et la chute appliquée sont entrées directement sur la console en tapant la valeur désirée dans la case appropriée. Le logiciel de la console permet l'exécution de procédures automatiques et peut servir à emmagasiner des données. Ce mode de fonctionnement est très utile pour rapidement remédier aux problèmes de démarrage d'une nouvelle installation expérimentale comme celle-ci et pour définir l'ensemble des paramètres à utiliser lors de l'arrangement final impliquant un système d'acquisition

indépendant. Dans le mode à distance, la commande de démarrage est lue à partir d'une entrée digitale du PLC connectée au système d'acquisition de données (VXI). Les consignes de la vitesse et de la chute sont fournies par les sorties analogiques du VXI aux entrées analogiques du PLC. Dans ce mode, on peut reproduire des essais justes, dans la précision de la boucle de régulation. L'ensemble du procédé expérimental est programmé à l'intérieur du logiciel d'acquisition de données. Le rôle du PLC à ce moment est d'assurer et de maintenir l'intégrité physique du système.

Système d'acquisition de données

Un système VXI est responsable de tout l'aspect acquisition de données du banc d'essai. Il s'agit d'un appareillage modulaire largement reconnu dans l'industrie de l'instrumentation. Il permet de combiner des instruments de mesure différents dans un ensemble homogène, tout en conservant une grande flexibilité. La Figure 8 nous montre un schéma du système d'acquisition de données. Pour acquérir les valeurs analogiques (pression, débit, profils de vitesse et autres), nous avons combiné un multiplexeur 64 canaux "HP E1460A" et un multimètre numérique de grande précision (6½ digits) qui peut emmagasiner jusqu'à 4096 lectures. D'autres valeurs, comme la vitesse de rotation de la turbine, sont pulsées. Pour ces valeurs, nous avons choisi un compteur universel "HP E1333A" à trois canaux. Les deux premiers couvrent des fréquences de 0 à 100 MHz et le troisième, celles de 75 MHz à 1 GHz. Nous avons inclus un convertisseur numérique/analogique "HP E1328A" pour commander directement des composantes réglables de la boucle, comme des valves ou des moteurs de positionnement. Nous avons complété le système d'acquisition de données avec un module d'entrées/sorties numériques. Ce module permet de lire toutes les variables de statut d'un essai, de transférer des points d'opération à l'automate et de communiquer avec des instruments qui n'acceptent pas le protocole GPIB ou l'interface VXI. En bref, ces deux modules permettent d'automatiser le processus expérimental complet, réduisant grandement le temps d'essai et la possibilité d'erreurs humaines. Tous ces modules sont installés dans un châssis VXI "HP E1401A" comportant 13 baies d'expansion et sont gérés par un contrôleur de châssis "HP E1406A". Le contrôleur de châssis gère les communications avec les différents modules et avec un ordinateur externe compatible PC 486.

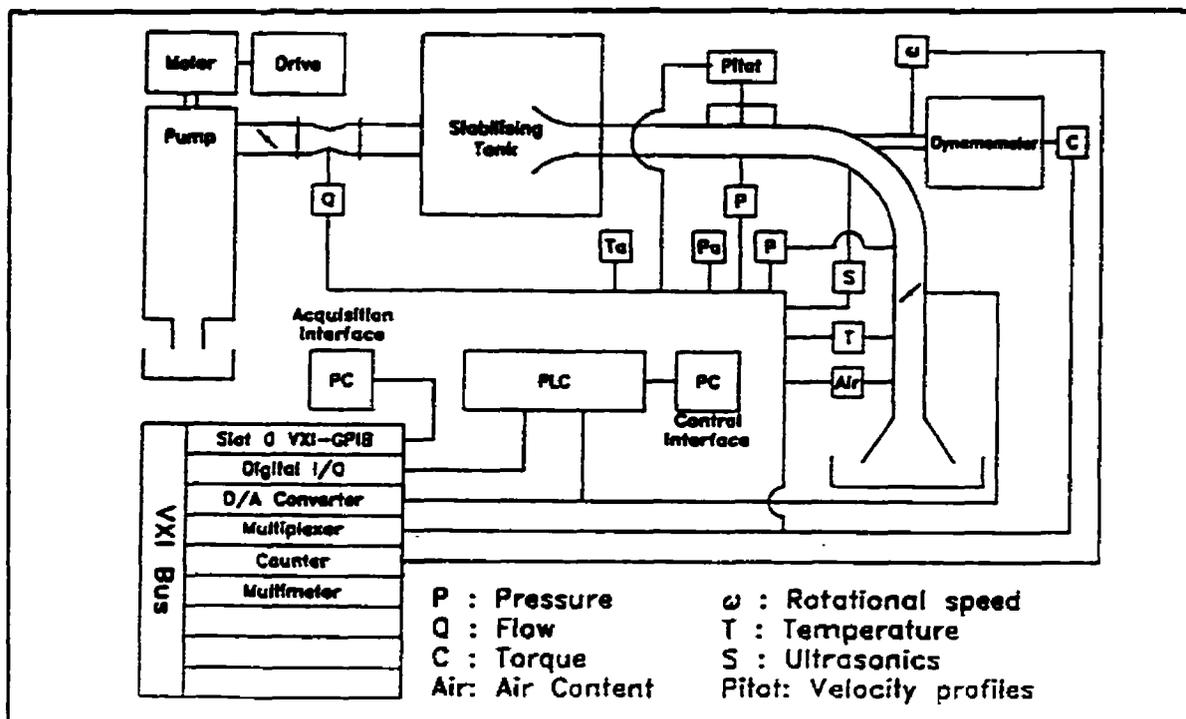


Figure 8 Schéma du système d'acquisition

L'ordinateur commande tous les modules VXI par l'entremise du logiciel "LabWindows" de "National Instrument". Ce logiciel est un outil de programmation interactif spécialement conçu pour le contrôle d'instruments et l'acquisition de données. Il est vendu avec une bibliothèque impressionnante de fonctions et de gestionnaires de périphériques pour l'acquisition, l'analyse et la présentation des données. De plus, toute fonction écrite en Basic ou en C peut être insérée dans l'environnement de travail.

Cet ensemble réduit grandement le temps de programmation et d'essais. Dans un essai de rendement, par exemple, un opérateur n'a besoin que d'entrer les points d'opération à tester (N et H). Le logiciel peut alors envoyer les instructions nécessaires à l'automate, exécuter les lectures requises (Q , N , C , T , les pressions importantes et les données secondaires) et présenter les résultats de calculs dans le format désiré.

CHAPITRE 3

Calcul d'erreur

Le présent chapitre est consacré à l'évaluation de la précision du banc d'essai pour la mesure du rendement d'une turbine. Nous présenterons un bref rappel des théories relatives au calcul d'erreur. Sont d'abord examinées les erreurs d'étalonnage des instruments puis, la propagation des erreurs dans le calcul de rendement. Nous discuterons alors de l'influence des différentes variables sur le résultat. Nous étudierons ensuite les méthodes utilisées pour étalonner les différents instruments composant le système de mesure du banc. Cependant, seuls les instruments qui interviennent directement dans la mesure du rendement seront revus ici. Finalement, nous résumerons l'ensemble des erreurs d'étalonnage et terminerons l'analyse de l'influence des caractéristiques des instruments sur le calcul du rendement.

3.1 Rappel théorique sur le calcul d'erreur

3.1.1 Identification des paramètres

Lorsque l'on désire étudier un phénomène physique ou une de ses caractéristiques, il est essentiel d'identifier les paramètres susceptibles de l'influencer. Les connaissances personnelles, les publications sur le sujet et les ouvrages sur les méthodes de mesure sont des guides pour nous aider dans cette tâche. Nous désirons déterminer le rendement η d'une turbine à l'aide des mesures effectuées sur notre banc d'essai. Comme nous l'avons vu dans l'équation (8), il s'agit de comparer la puissance mécanique fournie par la turbine à la puissance hydraulique disponible dans l'écoulement.

Les paramètres de base sont donc : ω , C , ρ , g , H et Q . Cependant, d'autres paramètres n'entrant pas dans le calcul du rendement viendront affecter les différentes variables. C'est ainsi que la température de l'eau, la teneur en air dissout, la présence de cavitation devront être notées et autant que possible contrôlées afin de diminuer leurs effets sur les variables à mesurer. De plus, les conditions atmosphériques du laboratoire devront être notées à cause des effets qu'elles pourraient avoir sur l'incertitude des instruments.

On voit donc l'importance de bien cerner tous les paramètres qui influencent un phénomène, autant ceux que l'on contrôle que ceux que l'on ne peut contrôler. En principe, si ces derniers ne sont pas négligeables, il pourrait s'avérer nécessaire d'effectuer nos lectures d'une manière aléatoire, de façon à réduire statistiquement l'effet de ces paramètres sur nos résultats.

3.1.2 Choix des méthodes de mesure

Plusieurs standards et livres de référence existent sur la manière de mesurer des variables [16][17][18]. Ces ouvrages nous aideront à comprendre les principes de fonctionnement des senseurs utilisés et leurs effets sur le phénomène à mesurer. Dans notre montage, par exemple, toute méthode de mesure du débit qui impliquerait une obstruction ou une perturbation de l'écoulement et qui pourrait influencer le rendement de la turbine est à rejeter. De plus, la compréhension des phénomènes physiques entourant l'objet de

notre analyse est importante dans la conception d'une expérimentation. Dans le cas de notre banc d'essai par exemple, si on plaçait un coude juste avant la turbine, il en résulterait une répartition inégale du débit et de la pression sur l'ensemble de la turbine et par conséquent des performances réduites.

3.1.3 Évaluation des erreurs expérimentales

On trouve généralement trois sources principales d'erreur : l'étalonnage, l'acquisition, et le traitement des données.

Lors de l'étalonnage, on doit utiliser des valeurs de référence que l'on considère comme des valeurs vraies. Des erreurs s'introduiront soit par l'erreur inhérente à ces références, soit par la manière selon laquelle cette référence est appliquée sur le capteur. d'étalonnage.

À l'étape de l'acquisition, des erreurs peuvent provenir de la chaîne d'acquisition, des conditions environnantes ou des conditions d'opération du montage. Quelques-unes d'entre elles sont listées dans la Table VIII.

Au moment du traitement des données, des erreurs peuvent être introduites par les arrondis ou les régressions et se répercuter dans les résultats présentés. La Table IX nous les présente.

Table VII Erreurs à l'étalonnage

- Transferts références primaires à inter-laboratoires
- Transferts références inter-laboratoires à laboratoire
- Transferts références laboratoire au système de mesure
- Technique d'étalonnage
- Etc.

La Table VII liste différentes sources d'erreurs

Table VIII Erreurs à l'acquisition

- Condition d'opération du système de mesure
- Quantification du senseur
- Conditionnement du signal
- Affichage ou digitalisation
- Condition d'opération du phénomène à mesurer
- Effets dus à la position des capteurs
- Effets dus à l'environnement
- Variation temporelle
- Etc.

Table IX Erreurs de traitement

- Troncature dans les calculs
- Courbes de régression
- Traitements numériques
- Etc.

Ainsi, pour chacune de ces sources, on obtiendra une erreur ϵ ayant deux composantes : l'erreur de biais ϵ_B , qui peut être réduite considérablement lors de l'étalonnage, et une erreur de précision ϵ_P , qui doit être évaluée selon des méthodes statistiques appropriées décrites dans les références [15], [16], [17] et [18]. Dans la pratique on utilise, comme valeur de l'erreur ϵ , un intervalle statistique à l'intérieur duquel on peut espérer retrouver 95% des valeurs mesurées. Cet intervalle est appelé : intervalle de confiance à 95%. L'annexe F renferme un complément mathématique sur l'intervalle de confiance.

On normalise ensuite l'erreur en calculant sa valeur RMS :

$$\epsilon_{inst} = \pm \sqrt{(\epsilon_B + \epsilon_P)^2} = \pm \sqrt{\epsilon_B^2 + \epsilon_P^2 + 2\epsilon_B\epsilon_P} \quad (13)$$

On doit garder à l'esprit que, même pour un seul instrument, l'évaluation de l'erreur ϵ reste une espérance mathématique construite à partir des données de régression de l'étalonnage. L'erreur de biais, d'une mesure à l'autre, tend à être constante pour un même instrument. L'erreur de précision, pour sa part, est aléatoire mais centrée à zéro. L'espérance mathématique de l'erreur de biais ϵ_B est donc une grandeur finie habituellement différente de zéro, alors que l'espérance mathématique de l'erreur de précision ϵ_P est théoriquement égale à zéro. Cependant, l'espérance mathématique du carré de l'erreur de précision ϵ_P^2 n'est pas égale à zéro. Par conséquent, le terme $2\epsilon_B\epsilon_P$ est égal à zéro. On peut donc réécrire l'équation précédente comme suit :

$$\epsilon_{inst} = \pm \sqrt{\epsilon_B^2 + \epsilon_P^2} \quad (14)$$

3.1.4 Étalonnage

L'étalonnage est l'acte par lequel on applique une valeur connue à l'entrée d'un instrument de manière à le corrélérer avec le signal de sortie. Il peut s'agir d'étalonnage statique ou dynamique selon que le temps affecte ou non la variable à mesurer. Comme nous mesurons des moyennes, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'étalonnage statique.

L'étalonnage a pour but d'identifier et de réduire l'erreur de biais. Plusieurs types d'erreurs composent l'erreur de biais d'un instrument :

- l'hystérésis ;
- la linéarité ;
- la sensibilité ;
- le décalage ;
- la répétabilité.

Lors de l'étalonnage, toutes ces erreurs sont confondues dans l'erreur de régression. Cependant, l'effet des différents types d'erreur peut s'avérer important dans le choix des procédures de mesure et d'étalonnage. C'est alors qu'une application de judicieuses techniques d'étalonnage ainsi qu'une analyse exhaustive des résultats peuvent permettre de séparer les différentes composantes de l'erreur et d'appliquer des correctifs appropriés. Ainsi, un étalonnage séquentiel sera utilisé pour identifier des erreurs d'hystérésis, alors qu'on choisira un étalonnage aléatoire pour minimiser l'effet que peuvent avoir certaines variables non-contrôlables sur notre phénomène.

3.1.5 Acquisition

L'acquisition de données est le processus par lequel on mesure un ensemble de variables indépendantes utilisées pour le calcul d'une variable qui est dépendante de ces dernières. L'acquisition implique autant les moyens utilisés (instruments, montage,...) pour faire les mesures que les procédures utilisées pour changer la valeur des différentes variables indépendantes (point d'opération, protocole de mesure,...).

La chaîne d'acquisition et la configuration de l'instrumentation auront un impact sur l'erreur. On doit donc porter une attention particulière

- aux types de capteurs utilisés pour effectuer les mesures ;
- aux emplacements choisis pour les capteurs ;
- aux moyens utilisés pour fixer les capteurs au montage ;
- aux câbles électriques utilisés et à leur disposition ;
- et à une foule d'autres considérations.

Les procédures expérimentales ont aussi une influence sur l'erreur. Ainsi, plusieurs opérations doivent être effectuées en considérant leurs influences sur la qualité de nos mesures :

- le démarrage du montage ;
- les temps de préchauffage de certains instruments ;
- les temps d'attente ;
- les variations des paramètres d'un point d'opération à un autre ;
- et bien d'autres opérations encore.

Pour faciliter ce travail, on a généralement recours à des standards établis dans le milieu de la recherche, comme c'est le cas avec les normes CEI [1][2] et AFNOR [3].

3.1.6 Propagation des erreurs dans le traitement des données

Lors du calcul d'une valeur à partir de plusieurs variables, on doit tenir compte des erreurs de chaque variable de même que de leur poids relatif dans l'équation. L'erreur sur le résultat d'une fonction de plusieurs variables est identique à la dérivée totale de cette fonction. Considérons une fonction $y = f(x_1, x_2, x_3)$

$$\text{soit } y=f(x_1, x_2, x_3) \text{ alors } dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \frac{\partial y}{\partial x_3} dx_3 \quad (15)$$

et posons la relation suivante pour y :

$$y = x_1 x_2^2 \ln x_3 \text{ donc } dy = x_2^2 \ln x_3 dx_1 + 2x_1 x_2 \ln x_3 dx_2 + x_1 x_2^2 / x_3 dx_3 \quad (16)$$

On voit bien que chaque variation dx_i est pondérée par la valeur locale de la dérivée. Si l'on remplace les dx_i par des erreurs Δx_i et que l'on divise de chaque côté par y , on obtient la valeur de l'erreur relative de y .

On voit que même sur les erreurs relatives, selon les calculs à effectuer, certaines variables ont un poids différent des autres. De plus, tout comme précédemment, on normalisera l'erreur au moyen de la valeur RMS. Les variables x_i étant considérées comme statistiquement indépendantes, la moyenne du produit croisé des erreurs $\Delta x_i \Delta x_j$ sera nulle. On obtiendra donc la valeur normalisée de l'erreur, tenant compte du poids de chaque variable,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta y}{y} &= \frac{x_2^2 \ln x_3}{x_1 x_2^2 \ln x_3} \Delta x_1 + \frac{2x_1 x_2 \ln x_3}{x_1 x_2^2 \ln x_3} \Delta x_2 + \frac{x_1 x_2^2 / x_3}{x_1 x_2^2 \ln x_3} \Delta x_3 \\ &= \frac{\Delta x_1}{x_1} + 2 \frac{\Delta x_2}{x_2} + \frac{1}{\ln x_3} \frac{\Delta x_3}{x_3} \end{aligned} \quad (17)$$

par l'équation suivante :

$$\frac{\Delta y}{y} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\ln x_3} \frac{\Delta x_3}{x_3}\right)^2} \quad (18)$$

On procédera de manière similaire en calculant le rendement η . On reprend d'abord l'équation (8) pour laquelle les variables ω , C , Q sont lues directement sur leur capteur respectif :

$$\eta_{tur} = \frac{P_{mec}}{P_{hyd}} = \frac{\omega C}{\rho g H Q} \quad (19)$$

Le terme de pression $\rho g H$ nécessite cependant plus d'attention. On doit, en plus de la différence de pression statique, tenir compte de la variation de pression dynamique :

$$\rho g H = (p_1 - p_2) + \frac{\rho(V_1^2 - V_2^2)}{2} + \rho g(z_1 - z_2) \quad (20)$$

La différence de pression totale est mesurée dans deux plans perpendiculaires à l'écoulement. Le point 1 est en amont des aubes directrices et le point 2 est en aval de la roue, juste avant la position théorique de l'aspirateur. Sachant que le débit et la section du tuyau sont les mêmes pour les deux points de mesure pour la turbine utilisée, on peut réécrire l'équation (20) :

$$\text{Sachant que } (V_1^2 - V_2^2) = 0 \text{ alors } \rho g H = (p_{s1} - p_{s2}) + \rho g (z_1 - z_2) = p_1 - p_2 \quad (21)$$

où les p_i sont les pressions lues par les capteurs aux sections 1 et 2. Cette différence de pression est présentement mesurée au moyen d'un capteur différentiel. On obtient ainsi, pour l'erreur sur le rendement, l'équation suivante :

$$\eta = \frac{\omega C}{p_{1-2} Q} \text{ alors } d\eta = \frac{\partial \eta}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial \eta}{\partial C} dC + \frac{\partial \eta}{\partial p_{1-2}} dp_{1-2} + \frac{\partial \eta}{\partial Q} dQ \quad (22)$$

En appliquant cette équation à l'erreur sur le rendement $\Delta\eta$, on obtient un coefficient de pondération $\partial\eta/\partial x_i$ pour chaque erreur Δx_i . On divise alors les deux cotés de l'équation par η pour obtenir l'erreur relative. Après avoir remplacé les coefficients $\partial\eta/\partial x_i$ et les dx_i , on obtient l'équation suivante :

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta\omega}{\omega} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta p_{1-2}}{p_{1-2}} + \frac{\Delta Q}{Q} \quad (23)$$

Alors, toujours selon la procédure présentée plus haut, on peut trouver la valeur RMS de l'erreur relative sur le rendement.

$$\text{Si } \epsilon_i = \frac{\Delta x_i}{x_i} \text{ alors } \epsilon_\eta = \sqrt{\epsilon_\omega^2 + \epsilon_C^2 + \epsilon_{p_{1-2}}^2 + \epsilon_Q^2} \quad (24)$$

On constate dans un premier temps que les erreurs relatives ont toutes le même poids. Cela s'explique simplement par le fait que notre équation ne renferme que des multiplications et des divisions. Donc, à prime abord, aucun instrument ne semble plus critique qu'un autre. Néanmoins, il n'est pas évident que tous les instruments soient aisément disponibles avec le même niveau de précision.

3.1.7 Exemple de calcul d'erreur à l'étape du design pour la mesure du rendement

Au moment de la conception d'une expérimentation, il est très important d'évaluer les erreurs. Cette étape permet de choisir les méthodes de mesure de même que les instruments composant notre chaîne d'acquisition en fonction de la précision requise et des budgets disponibles.

À partir du calcul de propagation des erreurs, de la littérature disponible et de nos connaissances du phénomène à étudier, on peut déterminer les méthodes de mesures. Par la suite, on choisit les instruments.

En scrutant les catalogues, on trouve l'erreur pour divers instruments. La liste suivante résume les erreurs des capteurs.

$$-\epsilon_{\omega} \approx \pm 0.03\% (\omega \approx 1000 \text{ rpm}, 2048 \text{ pulse/r, échantillon } 0.1\text{sec})$$

$$-\epsilon_C \approx \pm 0.15\%$$

$$-\epsilon_{p_{1,2}} \approx \pm 0.2\%$$

$$-\epsilon_Q \approx \pm 0.2\%$$

Dans notre installation, un multimètre digital est utilisé pour lire tous les signaux analogiques des capteurs. Ainsi, l'erreur de résolution de l'acquisition sera celle du multimètre. Celui-ci est très précis et offre une résolution de $1 \times 10^{-4} \%$. En combinant de l'instrument à l'erreur de résolution, on obtient un estimé de design de l'erreur ϵ_d :

$$\text{Si } \epsilon_0 : \pm 1/2 \text{ résolution et } \epsilon_i : \text{ précision de l'instrument, alors } \epsilon_d = \sqrt{\epsilon_0^2 + \epsilon_i^2} \quad (25)$$

Cependant, l'erreur de résolution étant ici très petite, elle est négligeable par rapport à l'erreur des instruments. On considérera cette dernière comme la seule erreur pour chaque instrument à l'étape du design :

$$\epsilon_{\eta} = \sqrt{0.03^2 + 0.15^2 + 0.2^2 + 0.2^2} = \pm 0.33\% \quad (26)$$

On constate, à partir de ce résultat, que l'instrumentation sélectionnée est adéquate pour atteindre notre premier objectif : la norme AFNOR classe A de $\pm 0.6\%$ d'erreur sur le rendement η .

Il est probable que nous puissions atteindre la norme CEI de $\pm 0.1\%$ après un étalonnage approprié de chaque instrument. On voit que les erreurs sur la chute H et le débit Q sont plus grandes que celles sur la vitesse ω et le couple C . Elles ont par conséquent plus d'influence sur l'erreur globale que les deux autres paramètres. En général, les capteurs

de pression et la cellule de charge sont beaucoup plus faciles à étalonner que le débitmètre. Cela s'explique par les infrastructures imposantes requises pour étalonner très précisément des débits allant jusqu'à 1.0 m³/s. Cela met évidemment en relief l'importance du choix du débitmètre, bien que le poids de son erreur dans l'équation (24) soit au départ équivalent à celui des autres variables de l'équation de rendement.

3.2 Étalonnage des instruments

3.2.1 Mesures des pressions et de la chute H

Les capteurs à étalonner sont branchés sur un réservoir commun à l'intérieur duquel on fait varier la pression. Une fois la consigne de pression stabilisée, on procède à l'acquisition de données au moyen d'un multimètre numérique et d'un multiplexeur. On effectue une série de mesures en débutant par des pressions basses, en montant jusqu'à la pleine échelle des capteurs, puis on redescend vers zéro. Les balances DH sont utilisées pour mesurer la pression de référence. On doit donc connaître l'erreur sur la valeur de référence avant de procéder à l'évaluation des erreurs sur la chaîne de mesure des capteurs.

L'erreur sur la chute de référence $\epsilon_{H_{ref}}$ qui est mesurée par la balance se décompose en plusieurs éléments :

- précision des masses de référence utilisées pour étalonner la balance ;
- erreur de quantification de la balance ;
- précision globale des têtes de conversion de la balance ;
- correction pour l'accélération gravitationnelle locale ;
- correction pour la température ambiante ;
- précision de la numérisation ;
- précision des constantes utilisées dans les calculs.

Les balances sont d'abord étalonnées au moyen de masses de références ayant une erreur de 0.0001%. Le résultat est une précision de ± 1 unité sur une échelle de 0 à 60 000 unités, soit une erreur de quantification de $\pm 0.00167\%$ de la pleine échelle. On utilise ensuite une tête de conversion qui transforme la pression appliquée à celle-ci en une poussée sur la balance. Ces têtes ont des surfaces calibrées qui garantissent une certaine

précision. La tête 410 ayant été utilisée pour l'étalonnage des capteurs de pression, l'erreur introduite est de 41.5 Pa + 0.01% de la lecture. Pour respecter cette précision, on doit tenir compte des corrections recommandées par le fabricant. On a alors un facteur de correction pour la gravitation terrestre locale et un pour la température locale. Considérant que l'erreur sur la mesure de la gravité est de $5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, on obtient une erreur supplémentaire de 0.000051 % sur la lecture. De même, pour la température, une sonde RTD à l'intérieur de la tête nous donne une précision de 0.1 °C ; le coefficient de dilatation thermique étant de $9 \times 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$, on aura une erreur de 0.00009 % de la lecture. La balance retourne alors un entier entre 0 et 60 000 proportionnel à la charge appliquée. La valeur est transférée à un ordinateur où elle sera multipliée par des constantes réelles pour obtenir une valeur de pression. Une constante réelle de simple précision étant définie sur 23 bits, on a une erreur de quantification de 0.000012 % et de façon similaire, les constantes de conversion sont connues avec une précision de l'ordre de 0.00005 %. Cependant, les erreurs d'une chaîne de mesure s'additionnant de manière quadratique, il devient évident que des erreurs entre 100 et 1000 fois plus petites que l'erreur de 0.01% de la tête de conversion seront tout à fait négligeables et peuvent être omises sans affecter la précision réelle des calculs. On élimine ainsi les facteurs de correction de la gravitation, de la température, les erreurs de numérisation et celles de précision des constantes.

$$\begin{aligned}\epsilon_{bal} &= \sqrt{0.0001\%^2 + 0.00167\%^2} \approx 0.00167\% \\ \epsilon_{tête} &= \sqrt{(41.5\text{Pa} + 0.01\%)^2 + 0.000051\%^2 + 0.00009\%^2 + 0.000012\%^2 + 0.00005\%^2} \quad (27) \\ &\approx 41.5\text{Pa} + 0.01\%\end{aligned}$$

On peut alors, considérant que la pression maximum mesurée sur le banc sera d'environ 30m (293.9 kPa) et que la pleine échelle de la tête 410 est de 120 psi (827.4 kPa), établir l'erreur absolue maximale sur la pression de référence pour l'étalonnage des capteurs.

$$\begin{aligned}\epsilon_{H_{ref}} &= \sqrt{\epsilon_{bal}^2 + \epsilon_{tête}^2} \\ &= \sqrt{(1.67 \times 10^{-5} \times 8.27 \times 10^5 \text{Pa})^2 + (41.5 \text{Pa} + 0.0001 \times 2.94 \times 10^5 \text{Pa})^2} \\ &= 72.23 \text{Pa}\end{aligned} \quad (28)$$

Connaissant l'erreur sur la chute de référence mesurée par la balance, on peut évaluer l'erreur de notre capteur de pression. Dans le montage d'étalonnage, le niveau de référence des capteurs correspond à celui de la balance à 1 ou 2 cm près. La variation de pression dans une colonne d'air étant de 10.69 Pa/m, on introduit ainsi une erreur d'environ 0.214 Pa, soit environ 0.00007% pour une chute de 30m. Le multimètre lit la tension du capteur "Rosemount" avec une résolution de 0.000033 %. La valeur obtenue est transférée dans un réel en double précision offrant une résolution de 1×10^{-14} %. Tout comme précédemment, ces erreurs sont tout à fait négligeables quant à la précision attendue de l'appareil, soit 0.2% de la pleine échelle (100 psi ou 689.5kPa), 1379 Pa.

Nous avons effectué un premier étalonnage du capteur de pression différentielle "Rosemount" en utilisant 25 points. Comme on peut le voir sur la Figure 9, on a une bonne linéarité du capteur jusqu'à 2.6 ou 2.7 volts. Comme la chute maximum sur le banc pour les essais prévus est de 30 m, nous avons choisi de ne pas tenir compte des valeurs au-dessus de 31 m. La régression linéaire effectuée sur vingt-et-une données nous a permis

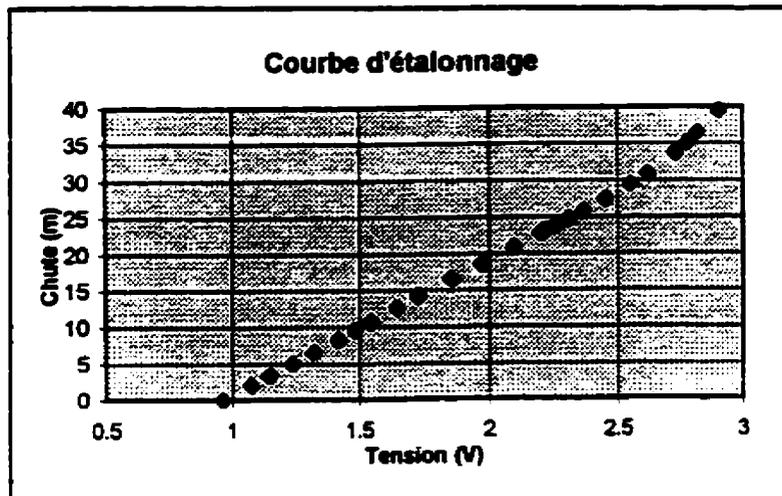


Figure 9 1^{ère} Courbe d'étalonnage du Rosemount

d'évaluer l'erreur sur un intervalle de confiance de 95% à 0.23% pour une chute de 30 m.

Cependant, lors d'un second étalonnage sur 125 points allant jusqu'à 36 m, on a retrouvé une linéarité presque irréprochable avec une erreur $\epsilon_{95\%}$ de 0.027% sur une chute de 36 m. Les raffinements apportés au montage utilisé pour appliquer la pression de référence et les ajustements du zéro et de la sensibilité du capteur sont les principales causes de cette amélioration sensible de la linéarité du capteur entre les deux étalonnages. En effet, en réduisant la sensibilité du capteur, on repousse le niveau de saturation et on obtient de meilleurs résultats pour les chutes élevées. De plus, l'ajout de valves sur le montage nous

a permis de mieux contrôler la pression appliquée sur le capteur.

On remarque dans le premier cas que l'incertitude de l'appareil est beaucoup plus grande que celle de la balance ; 676 Pa comparativement à 72 Pa. L'erreur de l'instrument sera donc de 679 Pa ou

0.23% de la chute maximale de 30 m, valeur en accord avec les données du fabricant. Le second cas fait ressortir l'importance d'une bonne procédure d'étalonnage de même que d'une bonne compréhension du capteur que l'on utilise. Les erreurs de l'instrument et de la balance sont alors pratiquement équivalentes, 79 Pa et 72 Pa. L'erreur obtenue dans ce cas est de 107 Pa ou 0.036% de la chute maximale.

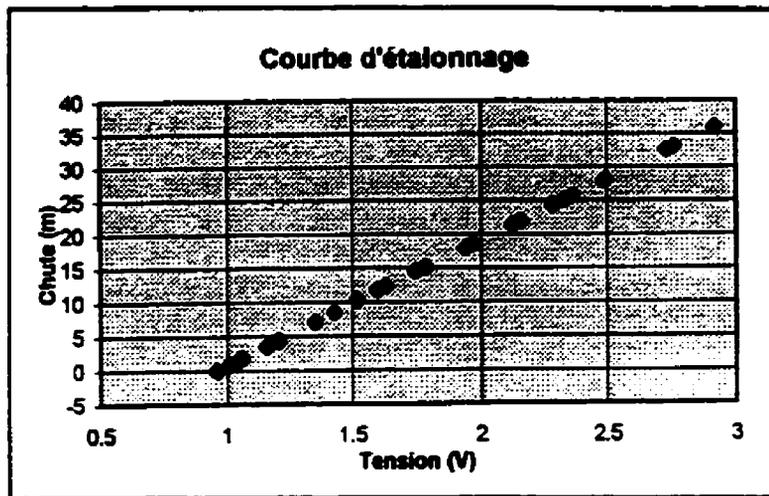


Figure 10 2° Courbe d'étalonnage du Rosemount

Les premiers essais ont été effectués à partir du premier étalonnage car celui-ci était suffisant pour atteindre notre objectif. Le second étalonnage a été effectué ultérieurement afin d'améliorer la précision des essais subséquents. Il est à noter qu'avec une telle précision, une dérive dans le temps de l'appareil peut changer considérablement les résultats et que, par conséquent, un étalonnage est systématiquement requis avant et après chaque essai.

3.2.2 Mesure du débit Q

Comme nous l'avons mentionné précédemment, l'étalonnage du débitmètre requiert des infrastructures qui ne sont pas actuellement disponibles à l'université. On peut, à ce sujet, consulter les références [1] et [4] qui renferment chacune une section très claire sur l'étalonnage des débitmètres. Bien qu'il soit dans nos projets d'effectuer localement de tels étalonnages à moyen terme, nous avons utilisé, dans la situation présente, le certificat d'étalonnage du manufacturier.

Il s'agit d'un étalonnage en huit points que l'on retrouve à l'annexe A. En observant les résultats, on obtient une erreur de biais de 0.05% et une erreur de précision de $\pm 0.182\%$ pour une erreur globale de 0.19%, ce qui est en accord avec les spécifications du fabricant. Cependant, on remarque que les erreurs sur les lectures #6 et #7 sont nettement plus grandes que les autres. Ceci est tout à fait compréhensible étant donné la perte de précision rapide de l'instrument en-dessous d'une certaine valeur de la vitesse d'écoulement, comme on le voit sur la Figure 11. Les deux lectures citées sont justement inférieures à la limite de 1 m/s. Si on retranchait ces deux valeurs de l'étalonnage, on obtien-

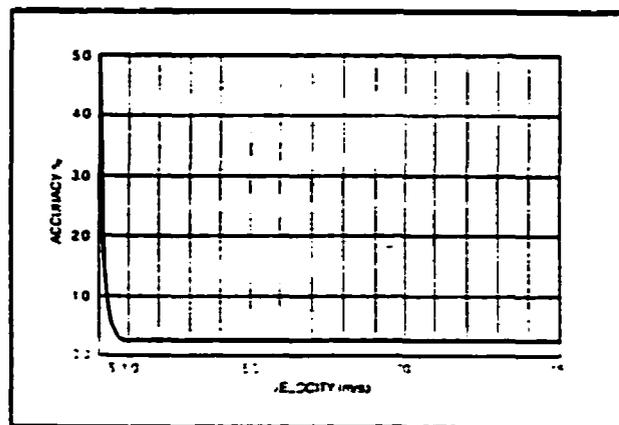


Figure 11 Précision du débitmètre

draient une erreur globale de 0.11 %. L'utilisation de cette erreur imposerait de garder un débit supérieur à 0.2 m³/s, qui serait la limite inférieure de notre étalonnage. Nous conserverons donc pour les premiers essais la valeur de 0.19% pour l'erreur sur le débit.

3.2.3 Mesure du Couple *C*

Une cellule de charge est fixée sur un des deux leviers du dynamomètre. De l'autre côté, on dépose successivement des masses calibrées, procédant ainsi à l'étalonnage statique du capteur. La valeur du couple de référence est calculée en multipliant la longueur du levier (côté masse) par le poids des masses calibrées. Ces deux grandeurs ont une précision respective d'environ 0.004% et 0.003%. La cellule est alimentée par une source de tension DC qui est ajustée pour nous donner une pente de 500 Nm/mV. On ajuste aussi le zéro de la cellule au moyen d'un circuit électronique permettant d'équilibrer le pont de Wheatstone de la cellule lorsque aucun couple n'est appliqué. On peut ensuite évaluer la dispersion des données et déterminer l'erreur comme on l'a vu pour le capteur Rosemount. L'erreur obtenue pour cet instrument varie de 0.15 % à 0.03 % lorsqu'on applique des couples de 123 Nm à 1250 Nm. L'évaluation des erreurs nous montre que pour des couples supérieurs à 250 Nm, soit la grande partie de nos mesures, on peut attendre une précision de 0.06 % pour cet appareil.

3.2.4 Mesure de la vitesse de rotation ω

L'encodeur utilisé pour la mesure de la vitesse de rotation de la turbine comporte un disque optique de 2048 fenêtres. L'arbre de la turbine et l'encodeur sont reliés au moyen d'une courroie de synchronisation avec un rapport de poulie 1:1. On peut évaluer grossièrement la puissance dissipée dans cet ensemble à moins de 10 watts.

L'étalonnage d'un tel appareil se limite à vérifier qu'il produit effectivement 2048 pulsations par tour. La précision de la chaîne de mesures est alors fonction du temps d'échantillonnage et de la précision du compteur utilisé. Puisque l'erreur de lecture est de ± 1 pulsation, plus le temps de mesure est long, plus le nombre de pulsations est grand et plus grande sera la précision. Dans nos premiers essais, le temps d'échantillonnage est de 2048 msec et la résolution du compteur est alors de 0.488 Hz. Mesurant des vitesses de rotation entre 400 RPM et 1500 RPM, l'encodeur produira des fréquences entre 13.65 kHz et 51.2 kHz. L'erreur maximum est alors de 0.0036%.

3.2.5 Mesure des profils de vitesse

Le banc d'essai de turbine doit recréer les conditions de l'écoulement réel d'une turbine en milieu naturel. On doit donc s'assurer de la qualité de l'écoulement présenté à la turbine modèle. L'utilisation d'un tube de Pitot nous permet d'évaluer le profil de vitesse de l'écoulement à différents endroits de la boucle d'essai. L'écoulement étant tridimensionnel, nous avons utilisé une sonde sphérique à cinq trous (Figure 12). L'étalonnage a été fait sur un montage utilisant un jet d'air potentiel, à l'intérieur duquel est placée la sonde. Nous avons mesuré les profils de vitesse à deux moments différents en utilisant une méthode

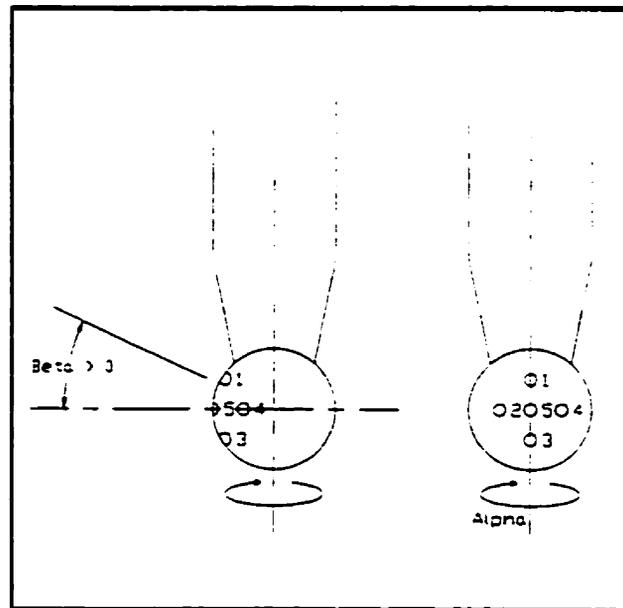


Figure 12 Tube de pitot à 5 trous

d'étalonnage différente dans chacun des cas.

Les premières mesures ont été prises à l'été 94, avant l'installation d'un modèle de turbine dans la veine d'essai. Nous avons fait un étalonnage dans l'air en utilisant les trois trous situés dans l'axe vertical de la sonde. Cette méthode permet de déterminer la vitesse et la direction de l'écoulement dans le plan vertical de la sonde. Les trous de gauche et de droite sont utilisés pour aligner la sonde dans le plan horizontal en équilibrant leurs pressions. Le rapport de stage de Jean-François Caron [13] présente les résultats de ce travail que nous résumons ici.

La sonde de Pitot a été étalonnée dans l'air en utilisant la similitude d'Euler. Cette similitude suppose que pour deux situations différentes, pour lesquelles la sonde voit les mêmes différences de pression entre ces trous, le nombre d'Euler est le même.

$$Eu = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (29)$$

Pour que cette similitude soit valide, il faut de plus que le comportement de la traînée La similitude de Reynolds est généralement plus importante que celle d'Euler. Cependant cette similitude est valide si les nombres de Reynolds sont proches et que le comportement de la traînée autour de la sphère soit similaire pour les deux conditions. Pour vérifier cette condition, on évalue le nombre de Reynolds pour les deux conditions.

Le débit attendu de la turbine qui sera testée sur le banc d'essai est de 0.5 m³/s. Sachant que le diamètre intérieur de la conduite est de 0.500 m, on obtient une vitesse moyenne de l'écoulement d'environ 2.5 m/s. Le diamètre de la sonde est de 0.009525 m et la viscosité cinématique de l'eau est de 1.155 X 10⁻⁶ m²/s à 15 °C.

$$V = 2.5 \text{ m/s}$$

$$D_s = 9.525 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\nu = 1.155 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{VD_s}{\nu} = \frac{2.5 \times 9.525 \times 10^{-3}}{1.155 \times 10^{-6}} = 2.06 \times 10^4 \quad (30)$$

En considérant la similitude d'Euler, on obtient une vitesse correspondante dans l'air de 72.0 m/s alors que la viscosité cinématique est de $1.514 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ à 20 °C. Le nombre de Reynolds est alors de $Re = 4.53 \times 10^4$. Ces deux valeurs du nombre de Reynolds pour l'air et l'eau sont situées dans une plage où la traînée est plutôt indépendante du nombre de Reynolds. On peut donc s'attendre à ce que les champs de pression soient similaires.

Pour l'étalonnage, un montage automatisé permet la rotation de la sonde selon deux axes et la variation de la vitesse du jet d'air de référence jusqu'à 75 m/s. Nous avons choisi d'étalonner la sonde en utilisant un seul axe de rotation. L'angle α décrit une rotation de la sonde autour de sa tige porteuse. Cet angle est ajusté à 0 pour l'étalonnage (trou #5 face à l'écoulement). Nous avons vu, au moyen de la similitude d'Euler, qu'un débit de 0.5 m³/s correspond à une vitesse dans l'air de 72.0 m/s. On a donc choisi une plage d'étalonnage dans l'air de 45 à 75 m/s qui correspond à des débits de 0.3 à 0.5 m³/s dans la boucle d'essai.

Lors des mesures, la sonde sera alignée dans l'écoulement puis l'angle α sera mesuré directement sur la sonde. L'angle β et la vitesse du jet seront déterminés à partir des coefficients d'étalonnage K_β et K_{5-4} :

$$K_\beta = \frac{P_1 - P_3}{P_5 - P_4} \quad (31) \qquad K_{5-4} = \frac{P_5 - P_4}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (32)$$

La Figure 13 montre les valeurs de ces coefficients d'étalonnage. Le dépouillement des données s'effectue comme suit :

- on choisit une courbe K_β correspondant approximativement à la vitesse moyenne de l'écoulement ;
- on calcule K_β à partir des pressions mesurées ;
- sur le graphe, on trouve l'angle β et la valeur de K_{5-4} ;
- on calcule la vitesse à partir de K_{5-4} ;
- on recommence le processus avec une courbe K_β correspondant à la vitesse calculée ;
- on arrête l'itération lorsque les vitesses ont suffisamment convergées.

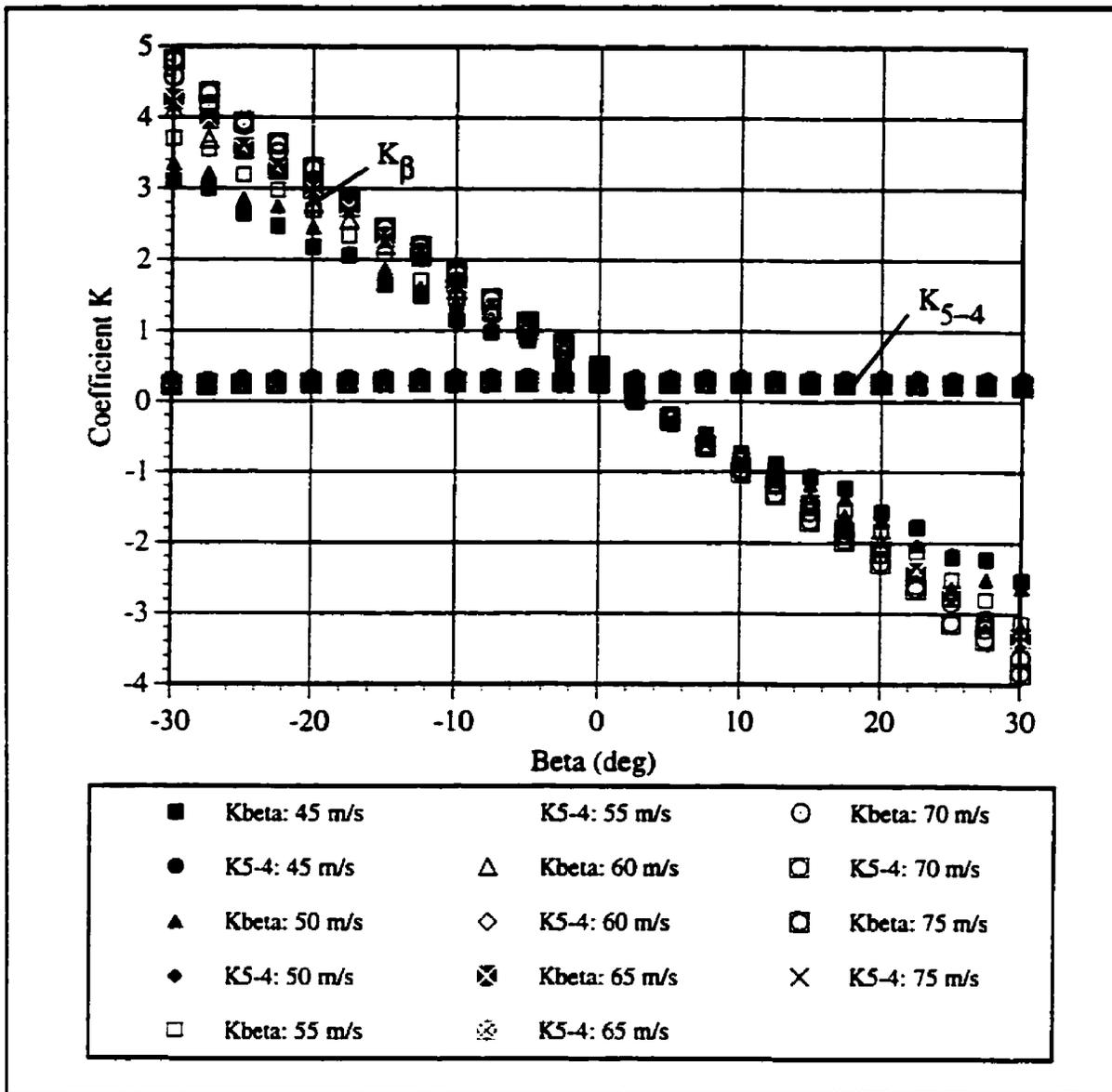


Figure 13 Étalonage de la sonde sphérique à cinq trous PROFIL_01

À l'été 95, avec la turbine en place, MM. Bouziane et St-Hilaire ont procédé à une nouvelle série de mesures. Ils ont aussi effectué un étalonage de la sonde dans son axe vertical et utilisé les trous gauche et droit pour aligner la sonde dans le plan horizontal. Ils ont toutefois choisi une approche différente en utilisant une similitude de Reynolds et un étalonage faisant appel aux cinq trous de la sonde. Pour plus de détails, on peut se référer au rapport de M. St-Hilaire [14]. Nous verrons néanmoins l'essentiel de cet étalonage dans les paragraphes qui suivent.

La similitude de Reynolds implique une similitude de la traînée autour de la sonde et par conséquent, un champ de pression similaire. Le rapport entre les vitesses d'écoulement dans l'air et dans l'eau sont alors :

$$Re = \frac{V_{eau} D_s}{\nu_{eau}} = \frac{V_{air} D_s}{\nu_{air}} \Rightarrow \frac{V_{air}}{V_{eau}} = \frac{\nu_{air}}{\nu_{eau}} = 13.11 \quad (33)$$

Cette fois-ci, l'étalonnage dans l'air a été effectué pour des vitesses de 15, 30 et 43.5 m/s. Les vitesses correspondantes dans l'eau sont de 1.144, 2.288 et 3.318 m/s, soit des débits de 0.224, 0.449 et 0.651 m³/s.

Tout comme dans les mesures précédentes, la sonde sera alignée dans l'écoulement puis l'angle α sera mesuré directement sur la sonde. L'angle β et la vitesse du jet seront déterminés à partir des coefficients d'étalonnage C_β et C_q :

$$C_\beta = \frac{p_1 - p_3}{p_5 - \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)}{4}} \quad (34)$$

$$C_q = 1 - \frac{p_5 - \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4)}{4}}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (35)$$

La Figure 14 montre les valeurs de ces coefficients d'étalonnage. Le dépouillement des données s'effectue de manière similaire à l'étalonnage précédent :

- on choisit la courbes C_β la plus proche de la vitesse moyenne de l'écoulement ;
- on calcule C_β à partir des pressions mesurées ;
- sur le graphe, on trouve l'angle β et la valeur de C_q ;
- on calcule la vitesse à partir de C_q .

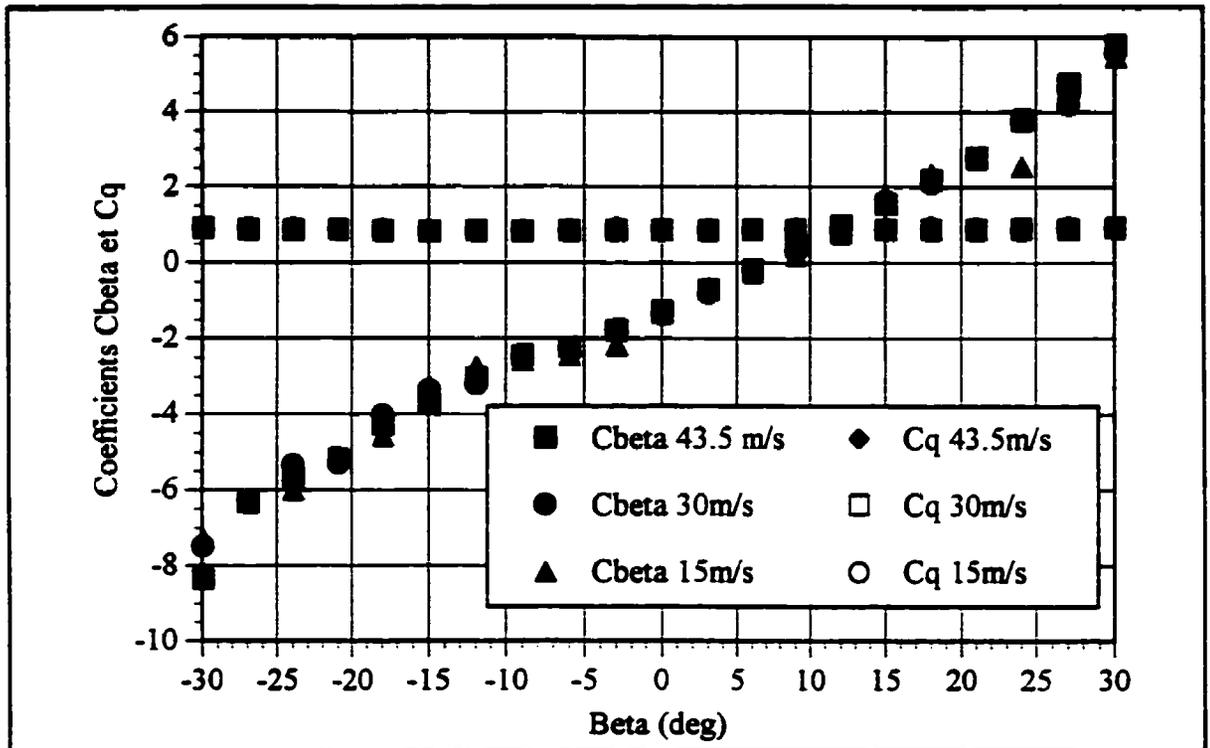


Figure 14 Étalonage de la sonde sphérique à cinq trous PROFIL_02

3.2.6 Résumé des erreurs

En tenant compte des résultats des étalonnages, on obtient la liste des erreurs avec un intervalle de confiance de 95% de chaque capteur :

$$-\epsilon_w = \pm 0.0036\%$$

$$-\epsilon_C = \pm 0.06\%$$

$$-\epsilon_{P1-2} = \pm 0.23\%$$

$$-\epsilon_Q = \pm 0.19\%$$

L'erreur sur la mesure de rendement est donc :

$$\epsilon_7 = \sqrt{0.0036^2 + 0.06^2 + 0.23^2 + 0.19^2} \approx \pm 0.30\% \quad (36)$$

Ce résultat est en accord avec le calcul de l'erreur estimée à la conception que nous avons vu à la section 3.1.7. De plus, l'étalonnage nous a permis de constater que la plupart des instruments pourront atteindre la précision requise par la norme CEI sans trop de difficultés, moyennant un étalonnage approprié.

Le second étalonnage du capteur de pression "Rosemount" montre une erreur de 0.036% en tenant compte de l'erreur sur la chute de référence mesurée par la balance "DH". De plus si l'on considère des débits supérieurs à 0.2 m³/sec, l'étalonnage révèle une erreur de 0.11%. L'erreur devient alors $\epsilon_w = 0.13\%$.

On voit donc que le débitmètre sera effectivement l'élément névralgique dans l'atteinte de cet objectif, particulièrement dans la mesure de petits débits.

CHAPITRE 4

Modes de fonctionnement et méthodes de mesure

Ce chapitre traite des procédures utilisées pour effectuer les mesures dans le cadre de l'étalonnage du banc d'essai. Nous verrons d'abord les aspects de la programmation des systèmes d'acquisition et de protection qui ont une influence sur le processus expérimental. Dans la seconde section du chapitre, nous concentrerons notre attention sur les procédures d'acquisition proprement dites et sur le traitement des données. Tout au long de ce chapitre, nous mentionnerons, lorsqu'il sera à propos, certaines observations et interrogations quant à l'interprétation des résultats obtenus lors des campagnes de mesure. Ces observations seront ensuite analysées plus en profondeur au chapitre suivant.

4.1 Programmation des systèmes d'acquisition et de protection

4.1.1 Interaction entre la protection et le processus expérimental

Comme nous l'avons mentionné au chapitre 2, la protection de la boucle d'essai est assurée par un automate programmable ou PLC. Cet appareil réduit considérablement l'intervention humaine sur la boucle, permettant ainsi aux opérateurs d'accorder plus d'attention au procédé qu'ils observent. En mode "à distance", les opérateurs n'ont pas à tenir compte du PLC qui échange les informations dont il a besoin avec le système d'acquisition et procède par la suite à une foule d'opérations assurant le bon déroulement des mesures.

Une fois la boucle d'essai mise sous tension, l'automate se place en mode d'attente. L'opérateur peut, à partir du système d'acquisition VXI, commander le démarrage de la boucle. Le PLC est donc programmé pour amener la pompe et la turbine à un point d'opération équivalant à une chute en amont de la turbine d'environ 5 m. Cette montée en vitesse est faite de manière à minimiser le temps de passage dans des zones de fonctionnement instable de la pompe. Le PLC purge ensuite l'air de la boucle au moyen d'une valve automatisée installée dans la partie supérieure de la cuve amont. Une fois l'air purgé et le point d'opération stabilisé, l'automate retourne au VXI un message signifiant qu'il est prêt à recevoir des consignes d'opération.

Bien que le VXI puisse lui transmettre tous les points de mesures d'un essai, l'automate les prendra un par un. Pour chaque point il aura trois consignes : les chutes amont H_1 et aval H_2 et la vitesse de rotation de la turbine ω . La régulation de vitesse est assurée par un circuit électronique secondaire autonome sur lequel l'automate garde le contrôle. La chute amont, ou pression, est maintenue constante en contrôlant la vitesse de rotation de la pompe, alors que la chute aval est contrôlée au moyen d'une vanne papillon motorisée. Ces deux dernières boucles de régulation sont entièrement contrôlées par l'automate. Alors, une fois les consignes reçues, l'automate amène le banc d'essai au point d'opération désiré en évitant des variations trop grandes des différents paramètres d'opération telles la pression, les vitesses de rotation, etc. Une fois le point atteint, l'automate attend que les paramètres se stabilisent à l'intérieur des limites spécifiées pour nos mesures et retourne l'autorisation de procéder à l'acquisition de données. Tout au long de la lecture des mesures, l'automate

vérifie la stabilité de toutes les variables et informera l'opérateur de toute anomalie par un message approprié au VXI. Simultanément à toutes ces opérations, l'automate procède à la vérification des niveaux d'alarme de variables choisies. Ainsi, un dépassement des limites maximum prescrites pour la vitesse de la turbine, le couple du dynamomètre, la pression à l'intérieur de la boucle, la température du dynamomètre ou son alimentation en eau, entraînera un arrêt d'urgence. Notons qu'il existe aussi des commandes d'arrêt d'urgence directement sur l'automate et sur un boîtier électrique de la boucle dans le cas où une intervention humaine serait requise.

On voit donc que l'automatisation d'une part importante du processus expérimental assure la répétabilité et la qualité des mesures, en libérant l'opérateur d'une tâche ardue et ce, de la manière la plus sécuritaire possible.

4.1.2 Interaction entre l'acquisition et le processus expérimental

La seconde part d'automatisation, non-moins importante, découle de la programmation du système d'acquisition de données. Celle-ci permettra de lire, de traiter et d'enregistrer les valeurs mesurées des différentes variables requises pour nos analyses, sans intervention directe de l'opérateur. Cette façon de faire nous permet de réduire le risque d'erreur humaine tout en accélérant le processus de lecture et d'analyse des données.

Comme nous l'avons vu précédemment, ce système est composé d'un ensemble VXI et d'un ordinateur personnel. La programmation du système est faite en partie avec le logiciel "LabWindows" de "National Instruments" et en partie avec des routines que nous avons développées en langage C. Le programme contient d'abord des routines d'étalonnage pour chaque instrument de la boucle. Ces routines nous permettent d'effectuer efficacement et de manière reproductible les étalonnages requis avant et après des essais, sans exiger de changer ou de déplacer l'instrumentation.

Le démarrage de la boucle est pratiquement entièrement automatisé. Cependant, les prises de pression étant montées avec des valves manuelles, la purge des capteurs doit être effectuée selon une procédure établie. Cette purge s'effectue pendant que l'automate purge l'air de la cuve amont. Comme la boucle est assez souvent arrêtée ou même vidée, on doit

absolument effectuer ces purges pour assurer la reproductibilité des résultats. Une fois cette étape complétée, l'opérateur peut entrer ses consignes. Trois options s'offrent alors à lui : le mode transitoire, le mode point par point et le mode points multiples. Le mode transitoire lit les données ponctuellement et les affiche à l'écran sans qu'il y ait enregistrement ou calcul des moyennes ou du rendement. Dans le mode point par point, l'opérateur entre les consignes de chute amont, de chute aval et de vitesse de rotation de la turbine. Le système passe alors en mode transitoire jusqu'à la stabilisation du point d'opération demandé. L'acquisition s'effectue ensuite pour ce point selon un protocole établi que l'on verra dans la prochaine section. Le nombre de boucles d'échantillonnage peut être adapté en modifiant les paramètres d'acquisition sur un tableau qui est accessible à l'opérateur de manière interactive (Figure 15).

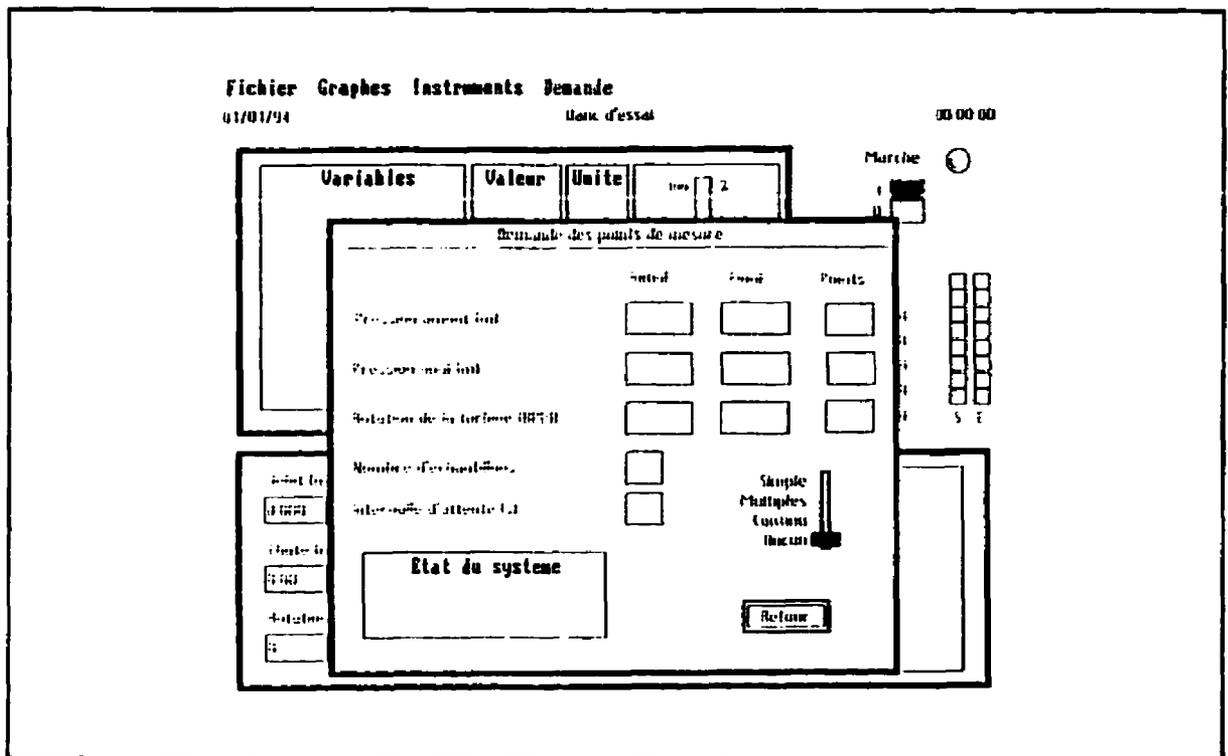


Figure 15 Écran de modification des paramètres d'acquisition

Le mode points multiples est similaire au mode point par point. Cependant, il permet d'entrer une plage de chute amont et de vitesse de rotation de la turbine avec un nombre de sous-intervalles pour chaque plage. On automatise ainsi l'acquisition sur une surface H et ω selon des incréments choisis dans les deux dimensions.

Dans les deux derniers modes d'opération, les valeurs moyennes des variables et les résultats intermédiaires sont enregistrés pour chaque point de mesure avec l'heure et la date de l'acquisition de même qu'un numéro séquentiel pour identifier les points d'une même campagne de mesures. Notons aussi que pour évaluer la stabilité des points d'opération, des enregistrements des valeurs instantanées des variables ont été faits lors des essais préliminaires. Ces valeurs instantanées ne sont habituellement pas conservées afin de réduire la taille des fichiers de données. On verra à la section 4.2 comment les valeurs moyennes sont calculées à partir des valeurs instantanées pour les différents essais.

L'automatisation de l'acquisition libère l'opérateur des tâches répétitives demandant une attention soutenue. Les outils mis en place permettent à un opérateur de procéder à une campagne de mesures quasi seul et assurent la validité des résultats en réduisant l'intervention humaine. L'ensemble permet aussi une certaine flexibilité en ce qui concerne les méthodes d'acquisition et de traitement des données dans un environnement interactif ne requérant pas de programmation, grâce à l'utilisation de paramètres d'acquisition. De plus, le programme développé permet à l'opérateur de visualiser les résultats préliminaires et les variables à mesurer tout au long de la campagne de mesures (Figure 16), ce qui lui permet de suivre la bonne marche du processus expérimental.

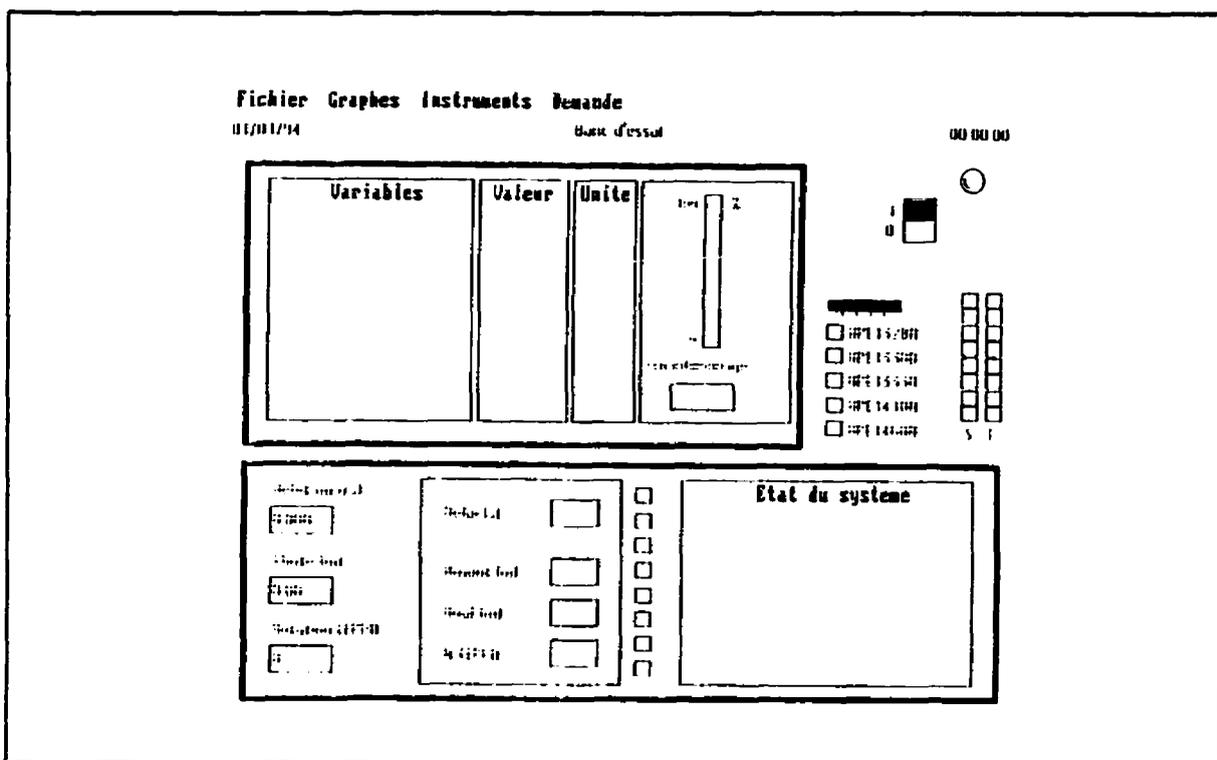


Figure 16 Écran d'affichage des résultats

4.2 Protocoles d'essai et commentaires

Dans la présente section, nous verrons les procédures utilisées lors des cinq différentes séries d'essais effectuées pendant la mise en route de la boucle d'essai. Les premiers essais d'opération, sans turbine, avaient pour but de vérifier le fonctionnement global de la boucle. On a ensuite procédé à une série de mesures de profils de vitesse à l'aide d'un tube de Pitot à tête sphérique pour évaluer l'uniformité et la stabilité de l'écoulement. On a enchaîné avec les mesures de rendement d'une turbine conçue par Dr Netsch. Nous verrons à ce moment le traitement requis sur les données pour produire les collines de rendement et les courbes à variables réduites. On a ensuite refait des mesures avec le tube de Pitot pour vérifier de nouveau la qualité de l'écoulement, mais en présence de la turbine cette fois-ci. Finalement, nous regarderons la série d'essais dynamiques qui avait pour but d'identifier et d'analyser le comportement dynamique de certaines variables présentant des fluctuations importantes.

4.2.1 Essais de stabilité d'opération (STAB_OP)

Ces premiers essais avaient pour but de vérifier le bon fonctionnement de la boucle dans son ensemble, de l'automate, de la chaîne d'acquisition et de s'assurer de la stabilité des variables à mesurer. Les campagnes d'essais, effectuées sans turbine, ont eu lieu en juillet 94. La programmation des systèmes d'acquisition et de protection était alors en développement. Les fonctions décrites à la section 4.1 n'étaient donc pas entièrement fonctionnelles.

Pour démarrer les essais, on ouvre la vanne papillon à 100% puis on amène la pompe à environ 50% de sa vitesse nominale, qui est de 1170 rpm. Une fois l'écoulement établi et les principales poches d'air évacuées de la cuve amont, on augmente les pertes de charges du système en fermant progressivement la vanne papillon.

Au cours de ces premières manipulations, on a constaté trois problèmes importants. D'abord, une certaine quantité d'air restait emprisonnée dans la cuve amont et générait de manière sporadique des perturbations importantes de l'écoulement. On a temporairement pallié à ce problème par une période de stabilisation plus longue avec une pression positive

dans la cuve amont. Par la suite, pour les mesures de rendement, on a développé un système automatisé de purge d'air au sommet de la cuve de même qu'une routine pour gérer cette opération avec l'automate. En second lieu, on a remarqué, pour des débits supérieurs à 0.5 m³/s, que le cône de répartition à l'entrée de la cuve amont entraînait en vibration. Ce phénomène était plus apparent à pleine ouverture de la vanne papillon. On peut imaginer aisément que la faible pression au niveau de la cuve amont, en absence de turbine, est propice à l'apparition de cavitation au niveau du cône. Ce problème n'est toutefois pas réapparu lors des essais avec la turbine. La troisième difficulté concernait la vanne. Une cavitation importante au niveau de la vanne aval, de même que la formation de poches d'air derrière celle-ci se produisaient pour des ouvertures inférieures à 60%. Il résultait de ce problème une vibration importante de l'ensemble de la boucle. On a donc limité nos essais à des valeurs d'ouverture supérieures à 60%.

On a choisi d'effectuer une série d'essais pour deux ouvertures de vanne : 60% et 100% ; et pour des vitesses de rotation de la pompe de 60%, 80% et 100% de sa vitesse nominale. L'organigramme suivant décrit le processus d'acquisition que nous avons utilisé.

Organigramme du processus d'acquisition des essais STAB_OP

-Faire, pour 2 ouvertures de la vanne aval (60% et 100%)

-Faire, pour 3 vitesses de rotation de la pompe (60%, 80% et 100%)

-Faire 2 fois

-Lire la valeur ponctuelle de 9 variables

$$(t_{amb}, p_{amb}, N_{pompe}, t_{pompe}, P_{pompe}, p_1, p_{cuve1}, p_{cuve2}, Ouv_{vanne})$$

-Faire 30 fois

-Lire la pression
$$P_{pompe} = \frac{\int_{-1}^0 P_{pompe} dt}{(0--1)}$$

-Stocker la valeur dans un vecteur pression

-Lire le débit
$$Q = \frac{\int_{-30}^0 Q dt}{(0--30)}$$

-Stocker la valeur dans un vecteur débit

└Retour 30 fois

-Calculer les moyennes p_{pompe} et Q

↳Retour 2 fois

↳Retour 3 vitesses pompe

↳Retour 2 ouvertures de la vanne

Pour chacun des six points d'opération, on a effectué deux séries complètes de mesures. Dans chaque série de mesures, on a fait d'abord l'acquisition ponctuelle de neuf variables : la température et la pression ambiantes, la vitesse de rotation, la température d'échauffement et la puissance dissipée du moteur de la pompe, la pression en amont de la position théorique du modèle, les pressions à chaque extrémité de la cuve amont et l'ouverture de la vanne papillon. La Figure 17 montre l'emplacement des capteurs.

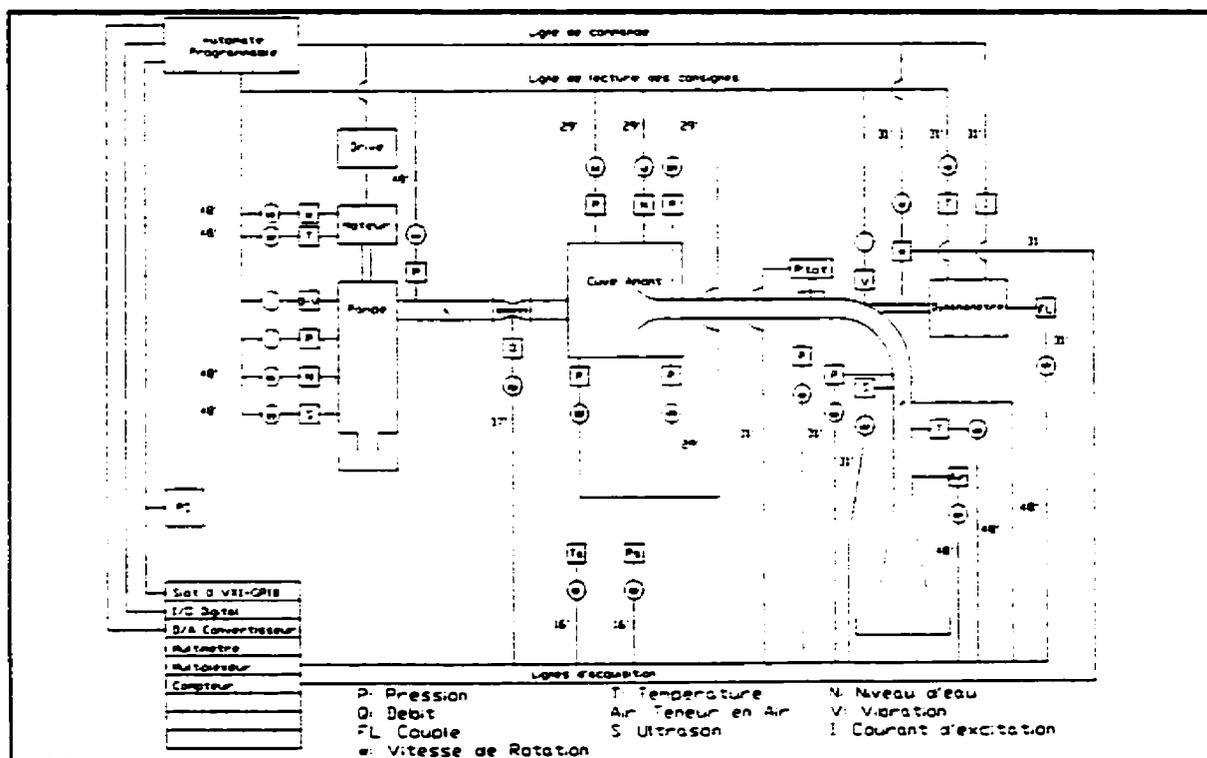


Figure 17 Position des capteurs pour STAB_OP

On a aussi effectué un échantillonnage de 30 valeurs pour le débit et pour la pression à la sortie de la pompe. La pression est une moyenne sur une seconde alors que le débit est une moyenne des 30 secondes précédentes, rafraîchie à toutes les secondes. On fait donc l'acquisition des valeurs ponctuelles à la seconde 0, puis on lance l'acquisition par le VXI

pour les 30 secondes suivantes avec une lecture à chaque seconde de la pression à la pompe et du débit. On calcule ensuite les moyennes et les écarts-types de ces 30 valeurs.

Les résultats de ces essais sont compilés à l'annexe B. La Figure 18 compare les résultats expérimentaux avec les prédictions effectuées à l'aide du logiciel RESPIP. À prime abord,

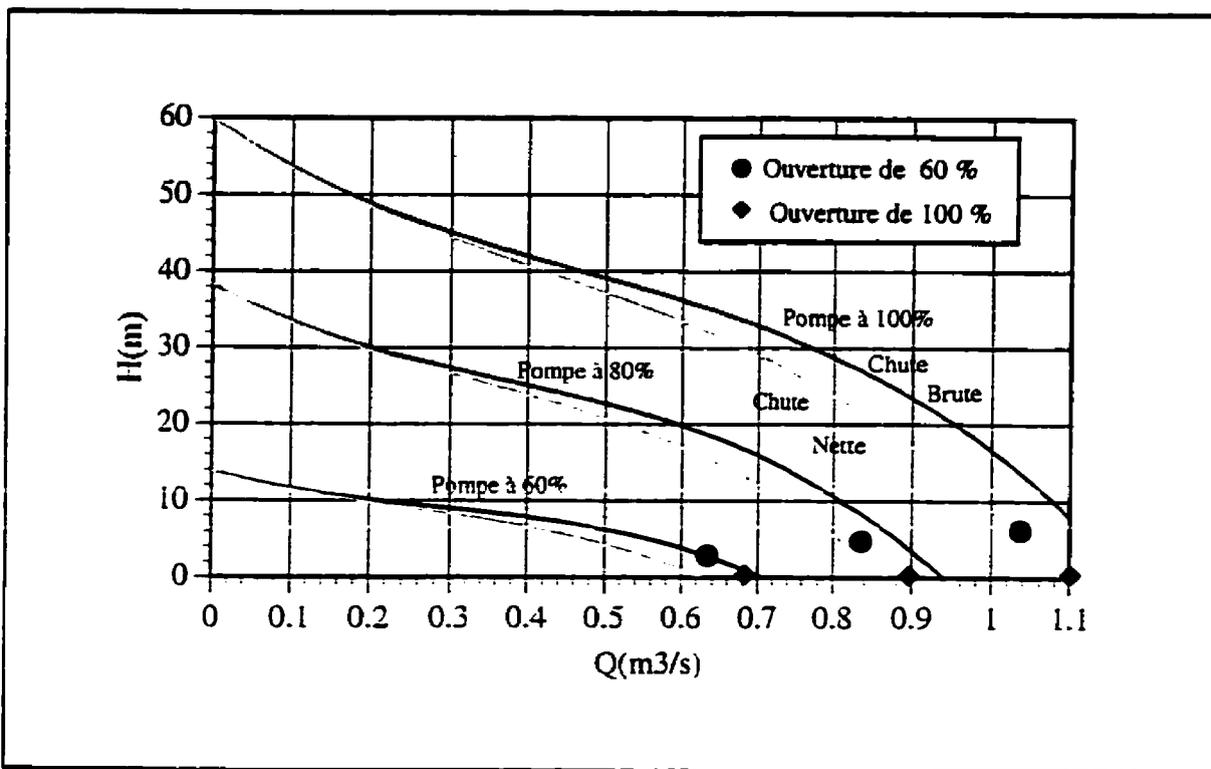


Figure 18 Courbe caractéristique du système, expérimental vs RESPIP

les résultats présentent une corrélation rassurante avec les prédictions théoriques. Pour plus d'informations sur ce logiciel et la comparaison des résultats, on pourra consulter les sections 4 et 5 de la publication présentée à Budapest [19].

Au cours de ces essais, on a fait quelques observations intéressantes pour la suite des travaux. Les principales observations concernent la mesure du débit, la pression à la sortie de la pompe, les balances à pression et les capteurs de pression à chaque extrémité de la cuve amont.

Tout d'abord, les mesures de débit sont très stables, comme le montre la série de 30 mesures que nous avons effectuée. Cela s'explique en partie par l'intégration faite par le

débitmètre sur les 30 secondes précédant chaque lecture. Cependant, on note une légère différence d'environ 0.5 % lorsqu'on répète, sans modifier les conditions d'opération entre temps, la lecture du même point quelques instants après. On a donc constaté une fluctuation lente du point d'opération dont la cause n'a pas été déterminée à ce moment-là.

La pression à la sortie de la pompe, subit pour sa part, des fluctuations importantes lors d'une série de mesures pour un point d'opération donné, soit entre 5 % et 40 % selon le point d'opération choisi. La pression à la sortie d'une pompe semi-radiale est déjà une valeur plus ou moins stable. Le capteur, de surcroît, est installé sur une prise de pression unique à l'extrémité d'un coude en sortie de la pompe ; ces fluctuations étaient donc prévisibles. Une telle ampleur du phénomène nous a obligé à utiliser, pour asservir la chute, une autre pression de référence. Nous avons choisi de prendre cette valeur de référence à la sortie de la cuve amont, où le signal est plus amorti, contrairement au design initial. Les préparatifs des essais de rendement ont d'ailleurs montré que cette valeur de pression, prise à partir de quatre trous sur la circonférence du tuyau à la sortie de la cuve amont, constituait une meilleure référence pour l'automate.

Les balances à pression ont été utilisées pour évaluer la chute amont. Ces appareils n'acceptant pas la présence d'eau sur les têtes de conversion, nous avons utilisé un échangeur eau-air prêté par le SEET d'Hydro-Québec. Les fluctuations perceptibles de la pression amont ont engendré des variations importantes du niveau de l'interface à cause de la compressibilité de l'air. Plusieurs options ont été envisagées pour corriger la situation : redessiner un échangeur avec un régulateur de niveau, concevoir un échangeur à interface eau-huile qui élimine le problème de compressibilité, ou utiliser un capteur conçu pour un contact direct avec l'eau. Ayant sous la main un capteur industriel répondant à ce dernier critère et offrant une précision suffisante pour rencontrer nos objectifs, nous avons opté pour cette troisième solution.

On a pu constater aussi que les capteurs de pression situés à chaque extrémité de la cuve ne reflétaient pas la chute de pression statique entre leurs positions. Cette situation s'explique par la position des capteurs et l'influence de perturbations locales. L'utilisation de ces deux prises de pression a donc été abolie.

Les essais de stabilité d'opération nous ont donc permis de constater certaines instabilités en l'absence de turbine, de même qu'ils nous ont permis d'évaluer les processus d'acquisition et les algorithmes de protection de manière à compléter judicieusement les préparatifs pour les essais de rendement.

4.2.2 Premières mesures de profils de vitesse (PROFIL_01)

Le but de cet essai était d'évaluer la stabilité et l'uniformité de l'écoulement entre la cuve amont et la section d'essai. Nous désirions donc obtenir l'allure du profil de vitesse de l'écoulement dans cette zone. Étant donné le caractère qualitatif de ces mesures plutôt que quantitatif, une précision de l'ordre de 1% est amplement suffisante. La présente section décrit brièvement ces essais. Le premier étalonnage, en similitude d'Euler, a été utilisé pour ces essais. Pour plus de détails, on consultera le rapport de Jean-François Caron [13].

Pour effectuer les mesures de profils de vitesse sur le banc d'essai, nous avons choisi un point d'opération se rapprochant des conditions nominales de la turbine à tester. Ainsi, nous avons choisi un débit d'environ $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une ouverture de 100 % de la vanne papillon. La Figure 19 montre l'emplacement des différentes sections de sondage (numéros

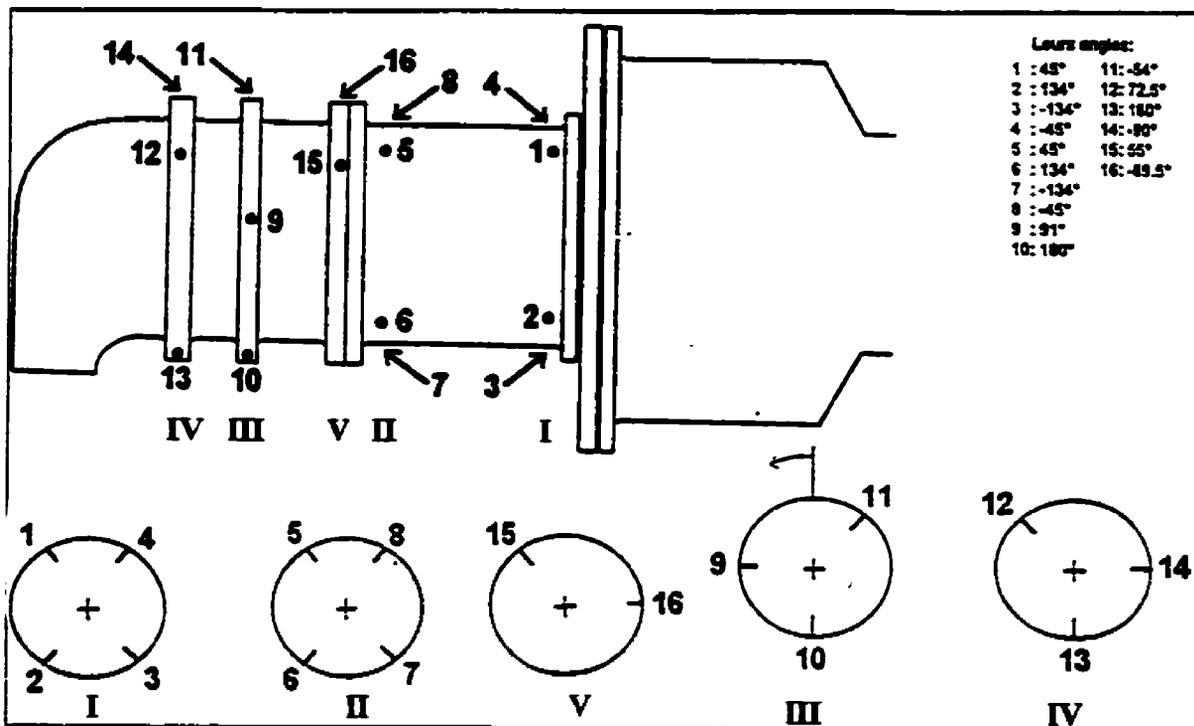


Figure 19 Position des sondages de Pitot

I à V) et l'orientation des prises (orifices 1 à 16) de Pitot utilisées au cours des deux séries de mesures de profils de vitesse.

On a retenu les sections I et II pour les mesures. Elles sont situées environ 20 cm avant chaque extrémité de la section droite entre la cuve amont et la section d'essai du modèle. Pour chaque section, on a effectué une traverse dans trois prises différentes pour un total de six traverses. On a débuté chaque traverse à une profondeur de 12 pouces en se retirant d'un pouce pour chaque mesure jusqu'à 1 pouce de la paroi et en terminant avec une mesure à 0.5 pouce. Pour chaque traverse, la sonde est introduite dans l'écoulement et la tuyauterie est purgée. Ensuite, pour chaque mesure, la sonde est alignée dans l'écoulement de manière à égaliser la pression des orifices gauche et droit de la sonde. Une fois la sonde dans l'axe de l'écoulement, on procède à l'acquisition des différentiels de pression.

Les résultats de ces mesures n'ont pas été des plus concluants. Tout d'abord, l'angle alpha (Figure 20), qui représente la direction de l'écoulement autour de l'axe de la sonde, aurait

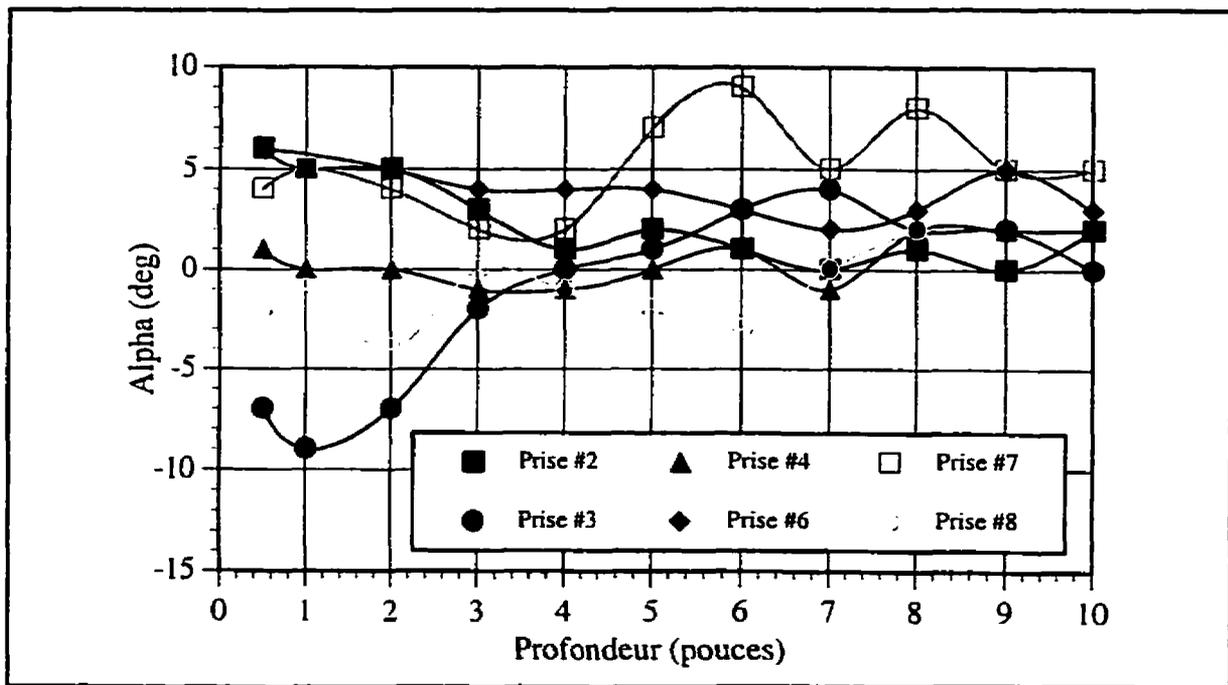


Figure 20 Angle α en fonction de la profondeur PROFIL_01

dû être nul pour un écoulement droit et uniforme ; il s'est avéré fluctuer beaucoup, parfois de plus de 10° le long de chaque traverse. Les fluctuations sont encore pires pour l'angle

β , avec des écarts de plus de 20° (Figure 21). Pour cet angle, une valeur non nulle implique un mouvement de l'écoulement vers la paroi ou vers le centre du tuyau.

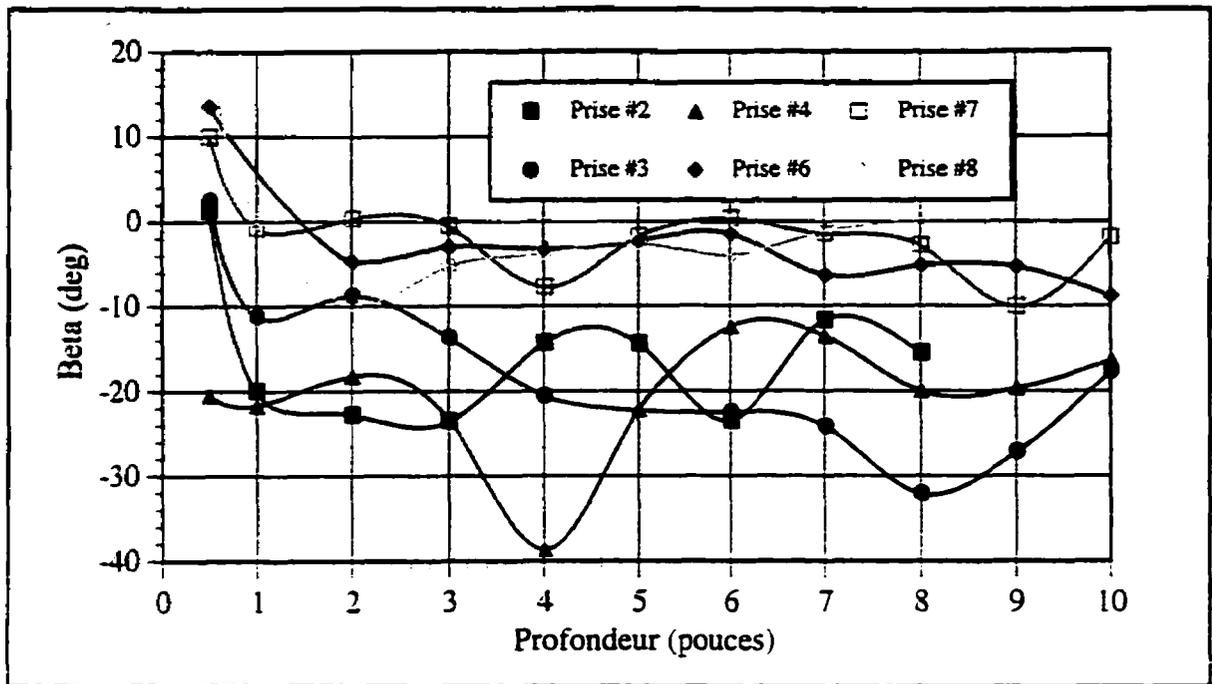


Figure 21 Angle β en fonction de la profondeur PROFIL_01

La vitesse résultante présente un peu moins de fluctuations que l'angle β , mais la vitesse moyenne du profil est inférieure à celle calculée à partir du débit mesuré par le débitmètre, qui est d'environ 2.5 m/s (Figure 22).

On a cependant remarqué des pressions instables durant toutes les mesures. Par conséquent, on peut soulever un doute sur la stabilité de l'écoulement. Un écoulement stable est requis pour que le profil de vitesse par mesures successives dans le temps soit valable.

On peut aussi mettre en doute la qualité de l'étalonnage de la sonde. La similitude des traînées était-elle suffisante, la dimension du jet d'étalonnage était-elle assez grande par rapport à la taille de notre sonde? On ne peut nier le caractère instable des mesures et la présence de turbulences importantes. Ces phénomènes sont probablement aggravés par le faible niveau de pression engendré par l'absence de modèle dans la section d'essai. On devra donc une fois la turbine en place refaire des mesures de profils après avoir vérifié l'étalonnage du Pitot, afin de déterminer si les conditions d'écoulement sont améliorées.

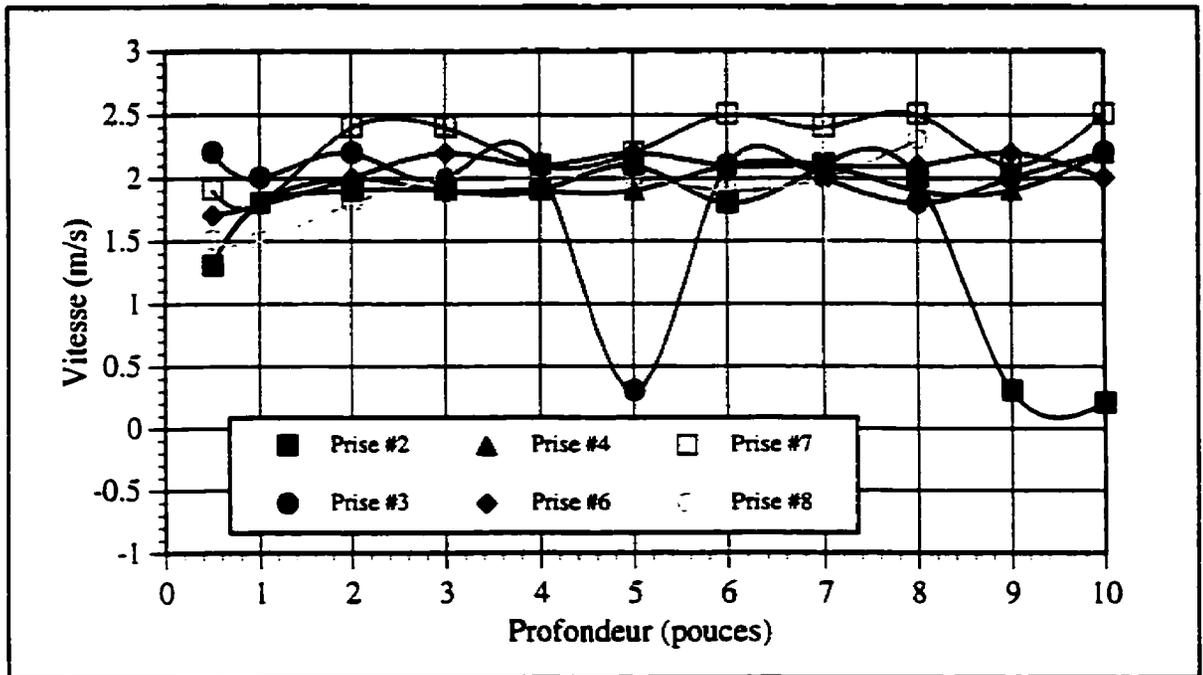


Figure 22 Vitesse en fonction de la profondeur PROFIL_01

4.2.3 Mesures de rendement (ETA_00, ETA_01, ETA_STAB, ETA_02)

Le but des mesures de rendement est habituellement de tracer la colline de rendement d'une turbine, de définir son point de fonctionnement optimum et d'en vérifier le bon fonctionnement dans la zone éventuelle d'utilisation. Dans le cadre de ce travail, établir la zone de fonctionnement du banc d'essai et déterminer sa précision sont des objectifs que nous avons ajoutés.

Nous avons vu, à la section 4.1, les opérations qui entourent l'acquisition de données et comment celles-ci ont été introduites dans la programmation de l'automate et du système VXI. Dans la présente, section nous nous attarderons donc au protocole d'échantillonnage des variables et à la couverture de la plage de fonctionnement. L'organigramme suivant décrit le processus d'acquisition que nous avons utilisé pour un point d'opération.

Organigramme du processus d'acquisition des essais ETA_XX

-Faire 3 fois

-Faire 10 fois

-Lire la chute H

-10 lectures successives de $10 \mu s$

-Stocker les valeurs dans un vecteur pression

-Lire le couple C

-10 lectures successives de $10 \mu s$

-Stocker les valeurs dans un vecteur couple

-Lire la vitesse de rotation de la turbine $N_{turbine} = \frac{\int_0^{2.048} N_{turbine} dt}{(2.048-0)}$

-Stocker la valeur dans un vecteur vitesse

↳ Retour 10 lectures

-Lire le débit $Q = \frac{1}{(2.048-0)} \int_0^{2.048} \frac{\int_{-30}^0 Q dt}{(0--30)} dt$

-Calculer les moyennes

-Stocker les mesures dans un 1^{er} fichier en identifiant le point de mesure

-Stocker les résultats dans un 2^e fichier en identifiant le point de mesure

↳ Retour 3 mesures

Chaque point de mesure est lu trois fois. Pour chaque point, on effectue d'abord un échantillonnage de la chute comprenant dix lectures effectuées par le multimètre avec une fenêtre d'ouverture de $10 \mu s$. Ce temps d'ouverture très court réduit la précision du multimètre à 0.03%, comparativement à la précision maximum de 0.00003% atteinte avec une fenêtre d'ouverture de 2 ms ou plus. Il nous permet cependant d'avoir de l'information sur la dynamique de la variable. On procède ensuite à une lecture similaire sur le canal mesurant le couple. On prend alors la lecture de la vitesse de rotation pendant 2048 ms. Nous avons préféré à ce moment acquérir une moyenne de la vitesse plutôt qu'une mesure dynamique en considérant que cette valeur était déjà régulée. Cette séquence de mesures de H , C et ω , qui dure environ trois secondes, est répétée dix fois. Au bout de ces dix boucles, on lit le débit pendant 2048 ms. La valeur transmise par le débitmètre à ce moment est une moyenne des 30 secondes précédentes, qui est calculée de nouveau à toutes les secondes. Cette procédure a été choisie étant donné la difficulté de concilier la rapidité et la précision avec l'interface industrielle du débitmètre. On obtient de cette manière une

série de 100 valeurs de chute et de couple divisée en sous échantillons de dix valeurs décalées chacun d'environ trois secondes. Pour chaque ensemble de sous échantillons chute et couple, on a une valeur de vitesse de rotation moyenne des deux secondes qui le suivent. Finalement, on a une valeur de débit moyen pour les 30 secondes de l'acquisition. Cette façon de procéder permettait d'avoir une idée de l'évolution dynamique locale du couple et de la chute en même temps qu'un aperçu de l'évolution des valeurs moyennes sur toute la durée de l'acquisition. Dans le cadre de la mise en route d'un banc d'essai, avec en plus une acquisition séquentielle des signaux, ces informations sont capitales aux développements subséquents de la méthode de mesure.

Pour couvrir la plage de fonctionnement, nous avons testé deux méthodes : d'abord à chute constante (ETA_00), en variant la vitesse de rotation de la turbine, puis à vitesse de rotation de la turbine constante (ETA_01, ETA_STAB, ETA_02), en variant la chute. On a d'abord choisi des chutes de 15, 20, 25 et 28 m. Pour chaque chute, on fait varier la vitesse entre 700 et 1300 rpm. Les premiers résultats ont montré une variation assez grande autour de la consigne de chute, soit 5% entre les extrêmes. On a effectué quelques modifications sur les routines de régulation, puis on a repris une autre série d'essais pour des chutes de 11, 16, 21, 26, 27 et 30 m. Des écarts entre les extrêmes de 3% ont tout de même été notés.

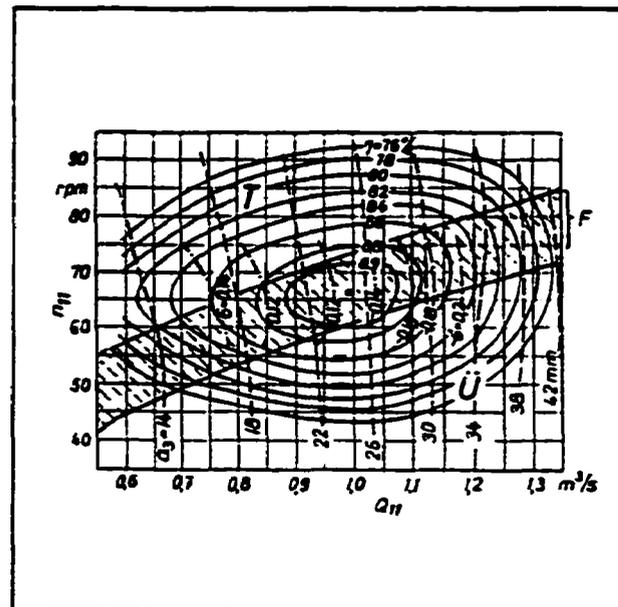
Remarquant que la vitesse de rotation présentait un signal plus stable, nous avons opté pour la seconde méthode qui utilise des mesures à vitesse constante en variant la chute. Une première série d'essais (ETA_01) a été faite pour des vitesses de 400 à 1200 rpm par tranche de 200 rpm. Nous avons aussi, à ce moment, modifié l'algorithme d'acquisition pour obtenir la version finale décrite au paragraphe précédent. La stabilité de la consigne de vitesse était nettement meilleure, soit environ 0.2%. Pour chaque consigne de vitesse, on faisait varier la chute entre 5 et 30 m ou selon ce que les limites de la pompe ou du dynamomètre nous permettaient. La chute était stable avec des variations de moins de 1.0%. Le couple, par contre, montrait toujours des variations importantes en oscillant parfois de 3 % à 5 %.

Bien que la plage d'opération fût relativement bien couverte par cette campagne de mesures, nous avons refait une série de 75 points (ETA_STAB) de mesures pour évaluer

l'influence des différentes boucles de régulation sur les fluctuations de la chute et du couple. L'analyse des résultats de ces mesures a montré une légère amélioration de la stabilité du couple, environ 50 % moins de fluctuations, lorsqu'on annulait la régulation de la chute aval en fixant la position de la valve. Nous avons aussi profité de l'occasion pour enregistrer toutes les valeurs échantillonnées pendant l'acquisition de chaque point. Ces enregistrements seront analysés plus en détail au chapitre suivant afin d'évaluer si les mesures suivent une courbe de distribution normale.

Finalement, on a refait une dernière série (ETA_02) de mesures en mars 95 pour raffiner le maillage de la surface $H-\omega$ mesurée. Pour des vitesses entre 800 et 1300 rpm, avec des échelons de 50 rpm, on a fait varier, toujours selon les limites de la pompe et du dynamomètre, la chute entre un minimum de 14 m et un maximum de 30 m.

Une fois les données traitées, on doit préparer la colline de rendement. À partir des résultats obtenus, on indique sur une surface $H-Q$ les valeurs de rendement mesurées, comme le montre la Figure 23. Cependant, pour transposer ces valeurs à des turbines géométriquement similaires mais de dimensions différentes, on présente souvent les collines de rendement sur une surface adimensionnelle $\psi-\varphi$. Pour le cas qui nous concerne, une turbine à hélice sans organe de régulation de débit, la colline adimensionnelle de rendement se



résume à une ligne. On tracera alors les variables η , φ , λ en fonction de ψ comme sur la Figure 24. Les performances mesurées étant confidentielles, la figure est sans échelle.

Bien que quelques modifications et ajustements mineurs aient été requis, on peut considérer que le fonctionnement de l'instrumentation entourant la boucle d'essai est satisfaisant. Cependant, il subsiste des interrogations quant à la stabilité et à l'uniformité de l'écoulement et de la mesure du couple. Une seconde série de mesures des profils de

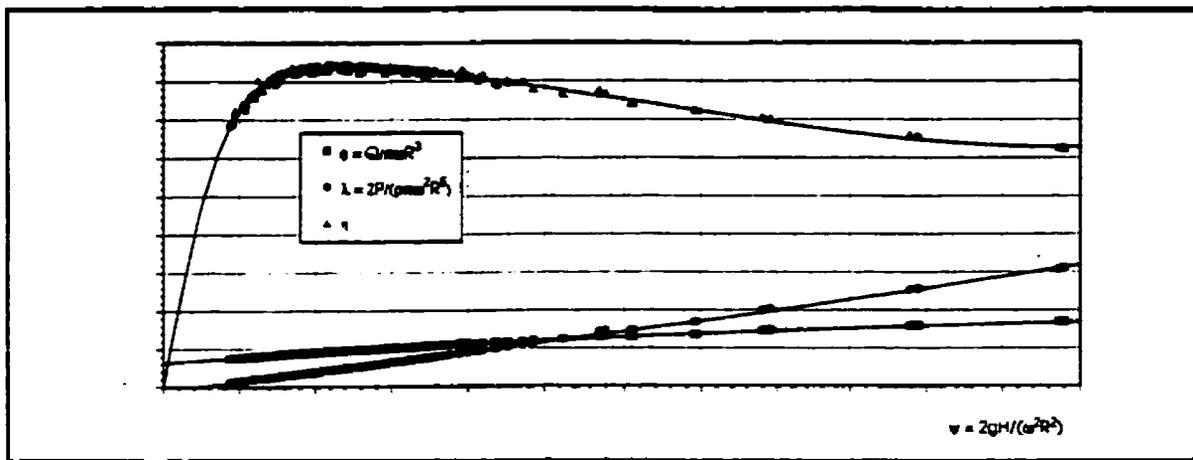


Figure 24 Caractéristiques adimensionnelles de la turbine testée en fonction de ψ

vitesse, de même qu'une mesure dynamique simultanée des variables principales nous apporteront plus d'éléments pour étoffer l'analyse de ces instabilités et pour corriger la situation.

4.2.4 Secondes mesures de profils de vitesse (PROFIL_02)

Avec cette seconde série de profils de vitesse, nous avons tenté d'évaluer la qualité de l'écoulement en identifiant son comportement et en caractérisant autant que possible les instabilités rencontrées. L'étalonnage avec similitude de Reynolds a été utilisé pour ces essais.

Nous avons procédé à des traverses sur un demi-diamètre dans cinq sections différentes de la boucle. Ces sections sont identifiées I à V sur la Figure 19. On utilise les prises numéros 2, 6, 9, 12 et 16. Pour chacune des traverses, on a mesuré la vitesse à chaque demi-pouce de la paroi jusqu'au centre du tuyau ou juste avant le moyeu pour les sections IV et V. Pour l'acquisition des pressions, on a utilisé trois méthodes différentes de dépouillement des données de manière à minimiser les erreurs pouvant découler des fluctuations dans le temps. Pour plus de détails, on consultera le rapport de M. St-Hilaire [14].

Les résultats de ces mesures sont nettement plus concluants que lors de la première série de mesures (Figures 25 à 27). Les profils de vitesse présentent des fluctuations moins importantes que lors de la première série de mesures (PROFIL_01). En fait, on a

l'impression d'être en présence d'un signal quasi périodique. Ce fait corrobore les fluctuations de la pression et du couple que l'on note lors d'une mesure de rendement. Notons aussi que les mesures dans le plan III, prise #9 n'étaient aucunement en accord avec les valeurs théoriques attendues. Les angles mesurés étaient pratiquement perpendiculaires à l'angle de sortie des aubes directrices. Nous croyons que la sonde se trouvait dans le sillage d'une des directrices et que de ce fait la mesure était faussée. Si on observe les trois composantes de vitesse dans les sections I, II et III, on note que le profil moyen est assez stable et que les vitesses radiale et angulaire sont très faibles, comme désiré.

On peut donc affirmer, malgré les fluctuations, que l'écoulement est nettement plus stable que lors des premières mesures de vitesse. Cette amélioration est probablement due à l'élévation du niveau de pression dans la boucle, qui réduit les risques de cavitation, et à la présence du modèle dans la section d'essai. On constate aussi que les fluctuations de l'écoulement sont quasi périodiques. Ces faits renforcent le besoin d'une analyse dynamique des signaux.

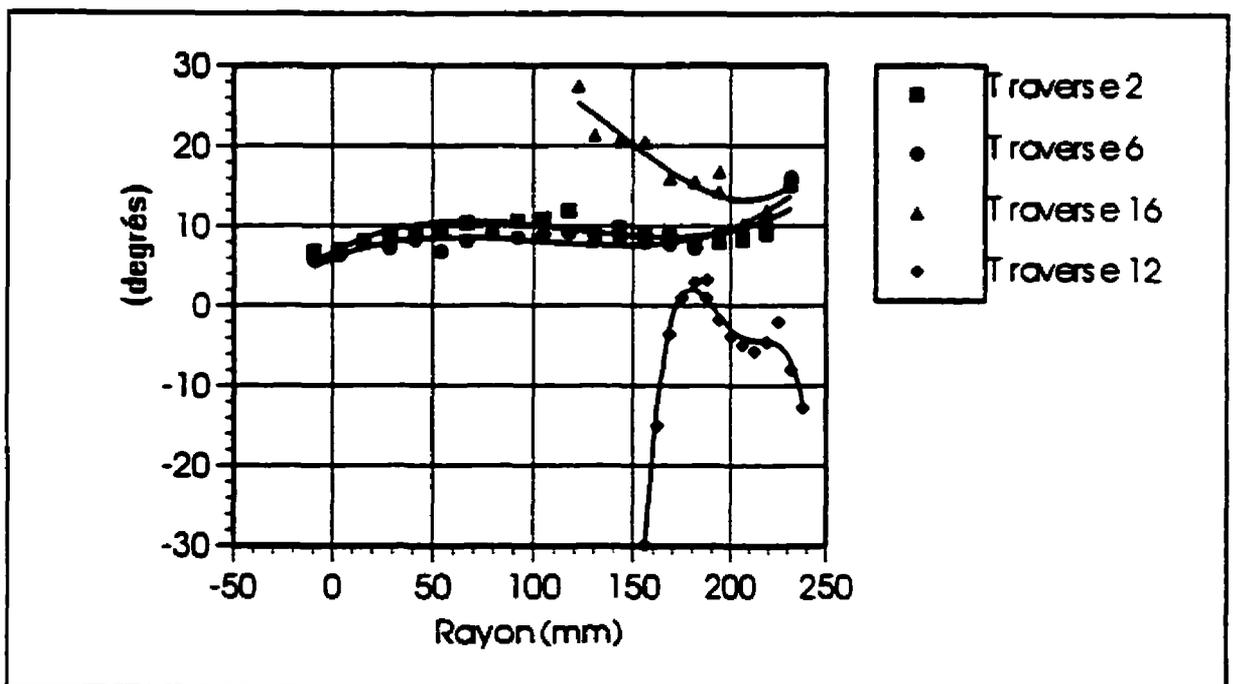


Figure 25 Angle β en fonction de la profondeur PROFIL_02

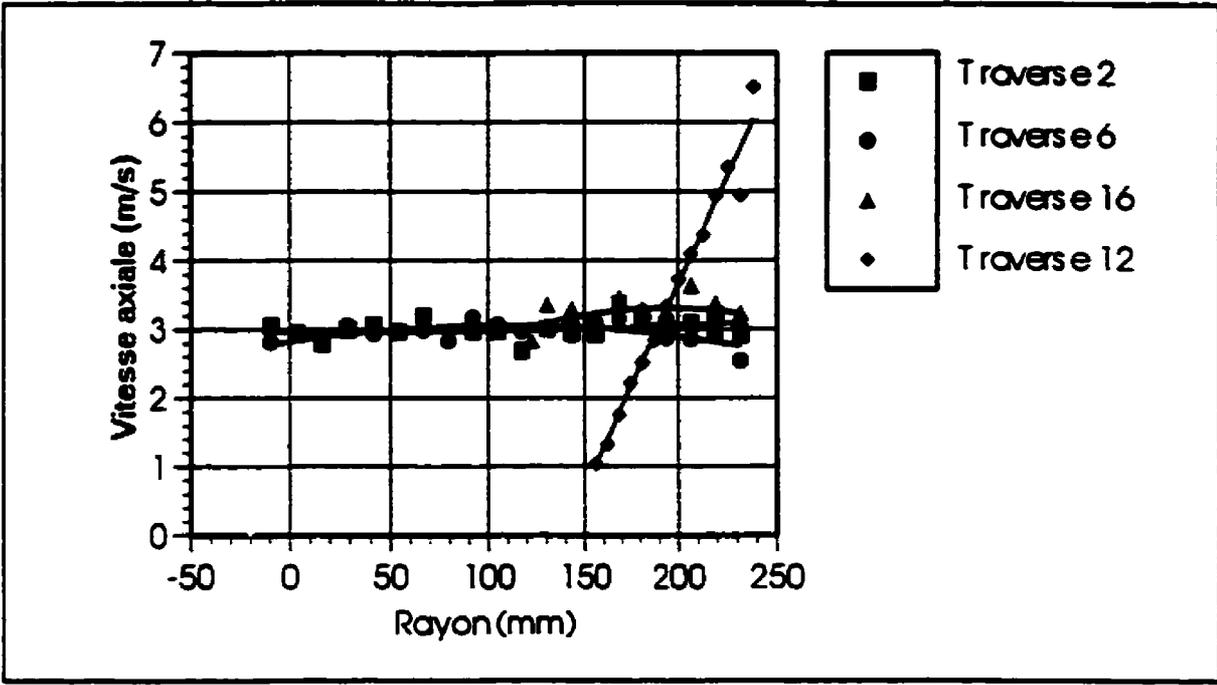


Figure 26 Vitesse axiale en fonction de la profondeur PROFIL_02

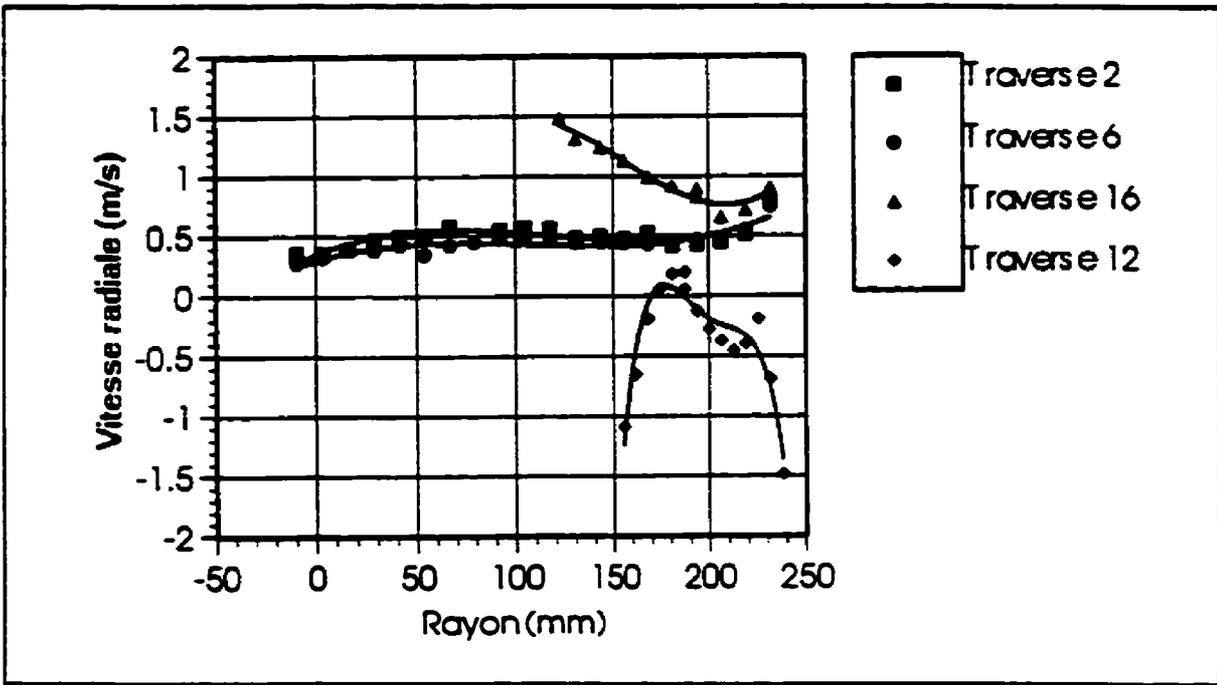


Figure 27 Vitesse radiale en fonction de la profondeur PROFIL_02

4.2.5 Mesures dynamiques (DYN_01)

Lors de ces essais, nous avons mesuré le comportement dynamique des signaux afin d'en analyser le contenu en fréquence, et d'identifier si possible les causes des fluctuations.

Nous recherchions l'ordre de grandeur des fluctuations les unes par rapport aux autres et par rapport aux moyennes mesurées des variables. Ainsi, nous étions plus intéressés au rapport de grandeur entre les amplitudes des différentes fluctuations et à leurs fréquences qu'à la valeur exacte des signaux. Nous avons donc effectué un étalonnage sommaire des capteurs, en utilisant un étalonnage statique avec des régressions sur deux ou trois points de mesure. Bien que ces étalonnages soient brefs, ils permettent d'avoir une bonne idée de l'ordre de grandeur des variables mesurées.

Nous avons choisi trois points d'opération ayant chacun une chute de 20 m, mais une vitesse de rotation de la turbine différente, soit de 800, 1000, et 1200 rpm. Pour chaque point, nous avons enregistré simultanément huit signaux :

- la pression en amont du modèle de turbine ;
- la pression en aval ;
- la chute entre l'amont et l'aval du modèle ;
- la pression à la sortie de la pompe ;
- le couple résistant du dynamomètre ;
- la vitesse de rotation de la turbine ;
- le différentiel de pression gauche-droite du tube de Pitot ;

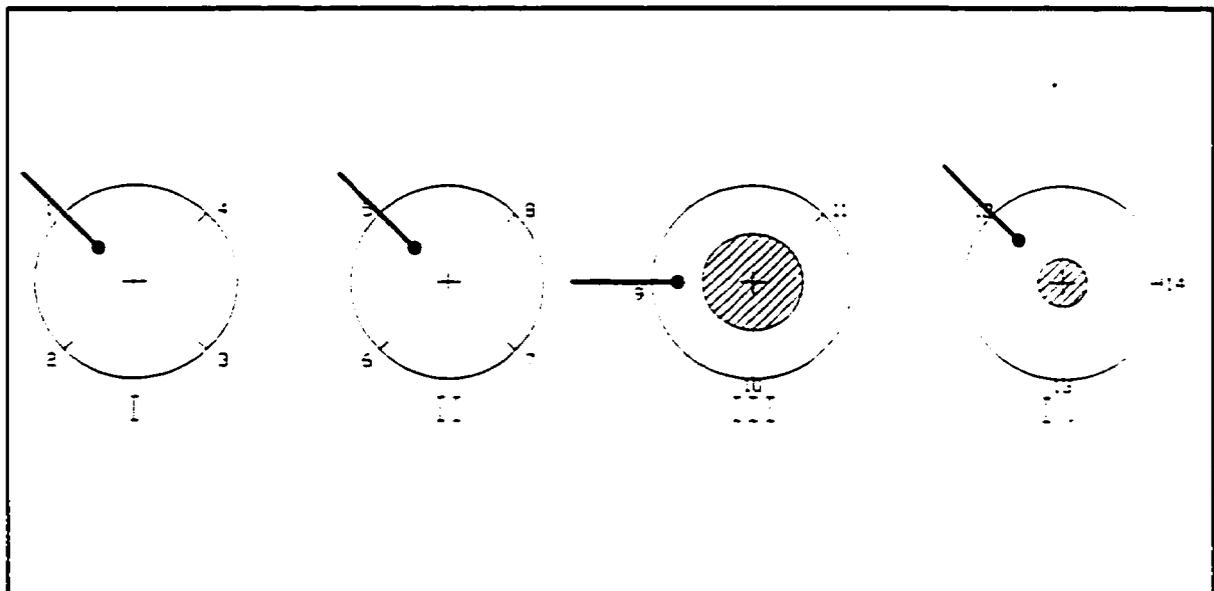


Figure 28 Emplacements de la sonde dans l'écoulement

- le différentiel entre la pression totale du Pitot et une pression statique de référence.

La référence de pression statique est prise à deux endroits ; dans la conduite à la sortie de la cuve, pour les mesures en amont de la turbine et à l'atmosphère, pour les mesures en aval de la turbine. Les lectures étaient prises pour quatre positions de Pitot, soit dans les sections I, II, III et IV de la Figure 19. La tête de la sonde se trouvait à mi-course de l'écoulement passant dans le quadrant correspondant à la prise de Pitot sélectionnée (voir Figure 28). À chaque mesure, nous avons d'abord attendu la stabilisation du point choisi. Nous avons ensuite bloqué la vanne aval en position, puis nous avons aligné la sonde dans l'écoulement. Nous avons alors noté l'angle α et avons procédé à un échantillonnage simultané des huit canaux à 500 Hz pendant 32.768 secondes. Notons que le débit n'a pas été inclus dans la mesure car l'interface du débitmètre ne permettait pas d'obtenir des valeurs convenables à une telle fréquence d'échantillonnage. Les données découlant de ces mesures sont présentées à l'annexe E.

Avant d'aller plus loin, mentionnons quelques observations importantes sur ces essais. Lors des mesures avec le tube de Pitot, la pression statique de référence est la pression amont pour les sections en amont du modèle, alors que pour la section aval, nous avons utilisé la pression atmosphérique étant donné la très faible pression totale dans cette zone. Il est alors évident que les pressions dynamiques mesurées en amont du modèle seront fortement influencées par le signal de la pression amont et que certaines perturbations peuvent provenir d'un décalage dans le temps entre les fluctuations de la pression totale locale et celles de la pression statique de référence qui n'est pas au même endroit. Au cours de ces essais, nous avons remarqué, tout comme lors de la seconde série de mesures des profils (4.2.4), un écoulement fluctuant en amont mais de moyenne relativement stable et uniforme. La traverse au point #9 donne aussi, tout comme dans les mesures décrites à la section 4.2.4, des résultats en dehors des prévisions.

Les deux dernières séries d'essais nous rassurent donc sur la stabilité et l'uniformité de l'écoulement. Cependant, dans les deux cas, on note des fluctuations importantes autour d'une valeur moyenne assez stable. L'analyse détaillée de ces fluctuations est présentée au chapitre suivant.

4.3 Résumé

Dans le présent chapitre, nous avons vu comment la programmation des systèmes de protection et d'acquisition prend en charge une part importante du processus expérimental. Nous avons aussi revu les stratégies d'acquisition pour les différents essais effectués afin de caractériser la boucle d'essai. Puis, nous avons émis des commentaires et observations sur le déroulement des différentes campagnes d'essai et mis en évidence quelques traits importants du comportement de l'écoulement à l'intérieur de la boucle. Nous sommes donc prêts à passer au prochain chapitre : l'analyse détaillée des données.

CHAPITRE 5

Analyse des données

Dans le présent chapitre, nous ferons d'abord l'analyse statistique des données. Nous tenterons de classier ces données selon la stabilité, la répétabilité et la distribution qu'elles présentent. Nous comparerons la zone de fonctionnement théorique que nous avons établie en phase de conception avec l'enveloppe des mesures prises lors des essais. Nous évaluerons ensuite l'erreur expérimentale qui doit être attachée aux résultats en fonction de la dispersion des données obtenues. Nous verrons aussi quelle est l'influence de chaque variable sur cette erreur. Nous analyserons également le contenu en fréquences des signaux dynamiques qui ont été relevés. Lors de cette analyse, nous tenterons de mettre en évidence les causes probables de la fluctuation des données et proposerons des avenues pour corriger la situation.

5.1 Analyses statistiques

Dans la présente section, nous évaluerons la stabilité dans le temps du phénomène que nous désirons mesurer. Nous établirons ensuite la répétabilité des points d'opération, c'est-à-dire la précision avec laquelle on réussit à reproduire un même point d'opération. En troisième lieu, nous vérifierons si la distribution des données est aléatoire et si elle suit une loi de distribution normale. Puis, en dernier lieu, nous tenterons d'établir l'ergodicité de nos mesures. L'ergodicité est la qualité d'un phénomène aléatoire dont les propriétés statistiques d'ensemble peuvent être évaluées à partir d'un échantillon d'une grandeur finie.

5.1.1 Stabilité des mesures

Nous utiliserons d'abord la série des mesures de rendement prises pour évaluer la stabilité (ETA_STAB, annexe C). Pour alléger la discussion, nous nous sommes limités à 4 points d'opération. Les points entre #1 et #60 ont été mesurés en mode d'opération normal. Pour les points #66 à #70, nous avons bloqué, pendant la mesure, la vanne régulant la chute aval.

Table X Conditions d'opération des points de mesures

Points	<i>H</i>	<i>N</i>
#10 à #13	20.23	1178.9
#23 à #27	20.28	778.2
#56 à #60	20.22	789.3
#66 à #70	20.24	788.2
#2008xx	20.53	847.3
#2010xx	20.73	1059.3
#2012xx	20.62	1271.8

La Table X résume les conditions d'opération des points de mesure utilisés dans l'analyse de stabilité. Nous regarderons les moyennes et les écarts-types des différents points de mesures, d'abord avec les séries #10 à #13 ($N \approx 1200$ rpm) et #23 à #27 ($N \approx 800$ rpm), pour évaluer l'effet de la vitesse de rotation du modèle. La série #56 à #60 présente exactement les mêmes conditions que la précédente, la seule différence étant le temps de fonctionnement du banc à un même point d'opération avant l'acquisition. Nous tenterons donc d'évaluer si ce facteur a une influence sur la stabilité des mesures. Dans la série #66 à #70, nous avons suspendu la régulation de la chute aval de manière à évaluer l'effet des multiples régulations sur les mesures. Finalement, nous comparerons ces différentes mesures avec trois points d'opération similaires mesurés lors des essais dynamiques. En comparant les résultats, nous tenterons de déterminer si le mode d'échantillonnage a un effet sur la stabilité apparente des mesures.

L'annexe C renferme, aux pages 233 à 236, une série de tables présentant la moyenne de chaque sous-échantillon de chacun des points de mesures. Chaque table est composée de quatre à cinq points de mesures qui ont les mêmes conditions d'opération. Pour chaque point de mesures, on a trois sections : les échantillons de données du couple C , de la chute H et de la vitesse de rotation de la turbine N . L'échantillon de vitesse est une moyenne de dix lectures, alors que les échantillons de couple et de chute sont composés de dix sous-échantillons, eux-même composés de dix lectures chacun, comme nous l'avons vu à la section 4.2.3.

On trouve aussi dans ces tableaux la valeur de l'intervalle de confiance statistique, autour de la moyenne, à l'intérieur duquel on retrouve 95% des données. Cet intervalle de confiance $e_{95\%}$ est exprimé en pourcentage.

Au bas de chaque section, on trouve un résumé des échantillons. Ce résumé présente d'abord la moyenne des dix moyennes de sous-échantillons d'un point de mesures, puis la moyenne de l'ensemble de l'échantillon du même point de mesures. On a ensuite la moyenne pour les quatre ou cinq points de mesures du tableaux. Les intervalles de confiance moyens des échantillons et des sous-échantillons utilisés dans l'analyse actuelle ont été regroupés dans la Table XI.

À la page 233 de l'annexe C se trouvent les points #10 à #13. On remarque une fluctuation importante des valeurs du couple. L'intervalle de confiance au niveau 95% varie entre $\pm 11\%$ et $\pm 15\%$ pour les sous-échantillons. L'intervalle est similaire si l'on prend l'ensemble des données d'un point (100 valeurs) ; $e_{95\%}$ varie entre $\pm 11.37\%$ et $\pm 11.73\%$ pour une valeur moyenne de $\pm 11.57\%$. Par contre, si on regarde la dispersion moyenne des sous-échantillons pour plusieurs points ayant les mêmes conditions d'opération ($H = 20\text{m}$ et $N = 1179\text{ rpm}$), l'intervalle de confiance moyen est de $\pm 2.20\%$. Si on observe de la même manière les valeurs de la chute, on constate des intervalles de confiance moyens de $\pm 1.15\%$ pour les échantillons et de $\pm 0.60\%$ pour la moyenne de tous les échantillons. Pour la mesure de vitesse de rotation, on ne dispose pas de sous-intervalles, l'intervalle de confiance moyen pour les échantillons est donc de $\pm 0.10\%$. Chaque valeur de vitesse est intégrée sur un intervalle de deux secondes ; on pouvait donc s'attendre à plus de stabilité pour cette variable.

Table XI Dispersion moyenne des sous-échantillons et des échantillons

Points ($e_{95\%}$)			<i>C</i>	<i>H</i>	<i>N</i>
#10 à #13	S-éch		2.30%	0.22%	----
	Éch		11.57%	1.15%	0.10%
#23 à #27	S-éch		2.20%	0.60%	----
	Éch		3.61%	1.03%	0.18%
#56 à #60	S-éch		0.54%	0.32%	----
	Éch		0.51%	0.29%	0.16%
#66 à #70	S-éch		0.43%	0.24%	----
	Éch		0.40%	0.21%	0.15%
#2008xx	S-éch		0.36%	0.18%	0.21%
	Éch		5.99%	0.55%	3.15%
#2010xx	S-éch		0.51%	0.19%	0.20%
	Éch		2.72%	0.60%	2.45%
#2012xx	S-éch		0.61%	0.22%	0.17%
	Éch		11.58%	0.55%	3.07%

Pour les points 23 à 27 (p.234, annexe C), les conditions d'opération sont $H=20\text{m}$ et $N=788\text{ rpm}$. On note que la fluctuation moyenne du couple, pour les échantillons, est nettement plus faible suite au changement de vitesse de rotation de la turbine, passant de $\pm 11.57\%$ à $\pm 3.61\%$. Par contre, la dispersion moyenne des sous-échantillons est équivalente à la précédente : $\pm 2.20\%$. Les fluctuations de la chute sont similaires, avec des dispersions moyennes de $\pm 1.03\%$ et $\pm 0.81\%$ pour les échantillons et les sous-échantillons. La vitesse de rotation de la turbine montre une distribution assez constante avec un intervalle $e_{95\%}$ moyen de $\pm 0.18\%$. On constate donc que la fluctuation du couple est fortement influencée par la vitesse de rotation. Cette hypothèse est confirmée lorsque l'on observe une fluctuation de $\pm 11.58\%$ pour la mesure dynamique effectuée à 1200 rpm (#2012xx). D'ailleurs, les analyses en fréquence des signaux dynamiques, que nous verrons à la section 5.4, ont révélé une résonance structurale sur la mesure du couple à 1200 rpm.

Aux points 56 à 60 (p.235, annexe C), bien que le point d'opération soit le même que pour les points 23 à 27, on note une amélioration de la stabilité des données avec des intervalles $e_{95\%}$ moyens de $\pm 0.51\%$ et $\pm 0.54\%$ pour les échantillons et sous-échantillons du couple et de $\pm 0.29\%$ et $\pm 0.32\%$ pour la chute. Pourtant, le mode d'opération du banc d'essai était le même que pour les points précédents. C'est-à-dire que la régulation de la chute amont, de la chute aval et de la vitesse de rotation étaient en fonction. La seule différence

entre les deux séries de points est la durée depuis laquelle le banc était en opération. Pour ces derniers points, le banc d'essai roulait depuis plus de 40 minutes et était au même point d'opération depuis au moins 20 minutes. On doit donc admettre que le temps de stabilisation des conditions d'opération du système s'avère plus long que ce que nous avions imaginé au départ.

Pour la série de points 66 à 70 (p.236, annexe C), nous avons bloqué la vanne aval en position, une fois les conditions stabilisées. Les intervalles de confiance sont légèrement améliorés avec $\pm 0.43\%$ et $\pm 0.40\%$ pour le couple, $\pm 0.21\%$ et $\pm 0.24\%$ pour la chute et $\pm 0.16\%$ pour la vitesse. Cependant, les écarts sont loin d'être aussi marqués qu'entre les deux séries précédentes. L'influence de la régulation de la vanne, bien que perceptible, est donc moins importante que celle du temps de stabilisation des conditions d'opération.

On obtient des intervalles de confiance similaires pour le couple et la chute lorsqu'on procède à l'analyse statistique des mesures dynamiques, comme le montre la Table XI. On en conclut que le mode d'échantillonnage que nous avons utilisé a peu d'influence sur la fluctuation apparente des données. Cependant, la conclusion est inverse en ce qui a trait à la vitesse de rotation. Celle-ci est une valeur moyenne qui présente un faible intervalle de confiance tout comme pour les signaux dynamiques. Néanmoins, l'ensemble de l'échantillon dynamique montre une fluctuation réelle de la vitesse d'environ 3.0%.

Les figures et les tables aux pages 259 à 267 de l'annexe E nous montrent bien que, malgré les fluctuations importantes des variables par rapport à la précision désirée, les valeurs mesurées oscillent de façon assez stable autour d'une moyenne pour une acquisition de 30 secondes. Nous avons donc effectué un test par arrangement inverse. Il s'agit, pour chacune des mesures composant une série chronologique, de compter le nombre de mesures qui lui sont supérieures parmi les mesures subséquentes de la série. On additionne ensuite les résultants de la première à l'avant-dernière mesure. Un total très bas indique une baisse de la variable mesurée, alors qu'un total très élevé indique une hausse. Ce type de test est décrit en détail par BENDAT et PIERSOL aux sections 4.7 et 10.4 de leur volume "Random Data" [15]. Les résultats du test (à l'annexe C) montrent que l'hypothèse de stabilité des mesures à un niveau de confiance de 95% est vérifiée pour la plupart des points mesurés lors des essais dynamiques et des mesures de stabilité des essais de

rendement : 2 rejets sur 36 pour les données dynamiques et 6 sur 38 pour les mesures de stabilité des essais de rendement (ETA_STAB). Néanmoins, on note un nombre de rejets légèrement plus élevé pour la série ETA_STAB, ce qui pourrait indiquer une légère influence du mode d'échantillonnage sur la stabilité apparente des mesures.

On a donc constaté que la vitesse de rotation du modèle et le temps de stabilisation du point d'opération avaient une influence sensible sur la fluctuation des variables. Toutefois, même si les valeurs lues lors d'une acquisition peuvent varier de manière significative autour d'une moyenne, on peut affirmer que la moyenne reste stable tout au long de l'acquisition d'un point de mesures.

5.1.2 Répétabilité des mesures

Comme nous l'avons brièvement énoncé précédemment, la répétabilité est la précision avec laquelle nous pouvons reproduire un phénomène ou un point de mesures. Nous comparerons donc, dans la présente section, la valeur des moyennes de plusieurs échantillonnages effectués pour un même point d'opération. Nous passerons alors en revue les mesures de stabilité des essais de rendement (ETA_STAB), les premières et les secondes mesures de rendement (ETA_01 et ETA_02) et les mesures dynamiques (DYN_01). Comme pour la plupart des points mesurés nous n'avons que cinq échantillons ou moins, nous présenterons les écarts-types au lieu des intervalles de confiance 95%, car la correction apportée à l'écart-type pour évaluer l'intervalle de confiance de si petits ensembles est très grande. Nous regarderons finalement l'évolution de la dispersion des mesures pour chaque point d'opération tout au long de la seconde série des mesures de rendement (ETA_02).

Comparons d'abord les points ayant des conditions très proches. Soit $H \approx 20$ m et $N = 800$ rpm. La Table XII résume les écarts-types des mesures provenant des différents essais autour de ce point d'opération. On trouve aux annexes C, D et E le détail des données de chaque point. À l'exception de deux séries de points (#43 à #55 et #9 à #11), les écarts-types des quatre mesures principales sont pratiquement tous du même ordre de grandeur. Les valeurs sont respectivement de $\sigma_C \approx 0.25\%$, $\sigma_H \approx 0.20\%$, $\sigma_N \approx 0.06\%$, $\sigma_Q \approx 0.15\%$ ce qui est assez faible. Cette observation pourrait laisser croire que la dispersion des données n'est pas imputable au mode d'acquisition. Cette hypothèse est renforcée si l'on

Table XII Dispersion des échantillons d'un même point: $H \approx 20$ m et $N \approx 800$ rpm

Série (écart-type)	Points	Q	C	H	N
ETA_01	#60- 62	0.10%	0.31%	0.18%	0.06%
ETA_02	# 9- 11	0.17%	0.73%	0.62%	0.01%
DYN_01	#2008xx	--	0.15%	0.23%	0.06%
ETA_STAB	#43- 55	0.35%	1.47%	1.28%	0.09%
	#56- 60	0.09%	0.26%	0.21%	0.02%
	#61- 65	0.15%	0.12%	0.10%	0.02%
	#66- 70	0.12%	0.07%	0.06%	0.02%
	#71- 75	0.21%	0.07%	0.04%	0.03%

compare la dispersion des d'échantillons et des sous-échantillons des points de mesures dynamiques #2012xx avec les points de stabilité des essais de rendement #10 à #13. À la Table XIII, on remarque que la dispersion de l'ensemble des données d'un échantillon est pratiquement la même pour le couple selon les deux modes d'acquisition. Par contre, la

Table XIII Dispersion des mesures d'un point: $H \approx 20$ m et $N \approx 1200$ rpm

	Points($e_{95\%}$)	10	11	12	13
Couple C	Moy s-éch	2.23%	2.64%	2.34%	1.99%
	Ens éch	11.52%	11.37%	11.73%	11.66%
Chute H	Moy s-éch	0.77%	0.58%	0.49%	0.56%
	Ens éch	1.17%	1.03%	1.29%	1.12%
Couple C	Points($e_{95\%}$)	#201211	#201221	#201231	#201241
	Moy s-éch	0.55%	0.49%	0.69%	0.70%
Chute H	Ens éch	11.00%	11.46%	12.38%	11.49%
	Moy s-éch	0.17%	0.15%	0.19%	0.19%
	Ens éch	3.15%	3.10%	3.03%	2.99%
	Moy 4 mesures (écart-type)	#10- 13	#2012xx		
Couple C		0.44%		1.14%	
Chute H		0.29%		0.68%	

moyenne des sous-échantillons est améliorée dans l'échantillonnage dynamique, avec une valeur $e_{95\%}$ d'environ 0.60% comparativement à environ 2.20% dans l'essai de stabilité. Au niveau de la chute, le phénomène est le même pour les moyennes, mais la dispersion de l'ensemble des échantillons est plus grande, soit environ 3.10% par rapport à 1.20%. Ainsi, on pourrait croire que l'échantillonnage dynamique, qui permet d'avoir des

moyennes de sous-échantillons moins dispersées, nous donnera une meilleure répétabilité. Or il n'en est rien. À la troisième partie de la Table XIII, on constate que la répétabilité des moyennes d'un point est meilleure pour les points #10 à #13 avec des écarts-types de 0.44% et 0.29% pour le couple C et la chute H , que pour les mesures dynamiques pour lesquelles on obtient respectivement des écarts-types de 1.14% et 0.68%.

En regardant attentivement les écarts-types des mesures d'un même point d'opération tout au long de la campagne de mesures de rendement ETA_02 (pages 254 à 256, annexe D), on remarque que les fluctuations maximum apparaissent lors des premières lectures qui suivent un changement de la vitesse de rotation de la turbine combiné à un changement important de la chute. La Figure 29 et la Figure 30 montrent l'évolution des écarts-types

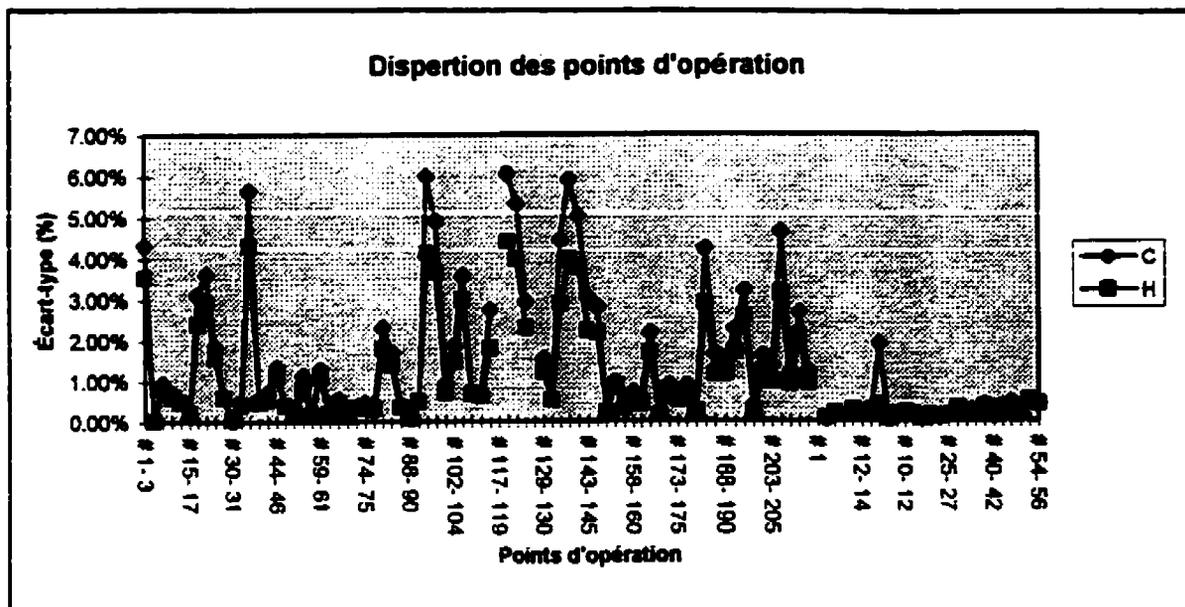


Figure 29 Dispersion des points d'opération d'un essai de rendement: C et H

pour les différentes variables tout au long des mesures de rendement ETA_02. On en déduit alors que la dispersion des résultats est fortement influencée par la manière dont la plage de fonctionnement est couverte et par la manière dont les valeurs sont lues. Cette constatation corrobore celle faite lors de l'évaluation de la stabilité des mesures. C'est-à-dire que le temps de stabilisation des paramètres d'opération est relativement long. En conséquence, le temps entre nos mesures est trop court.

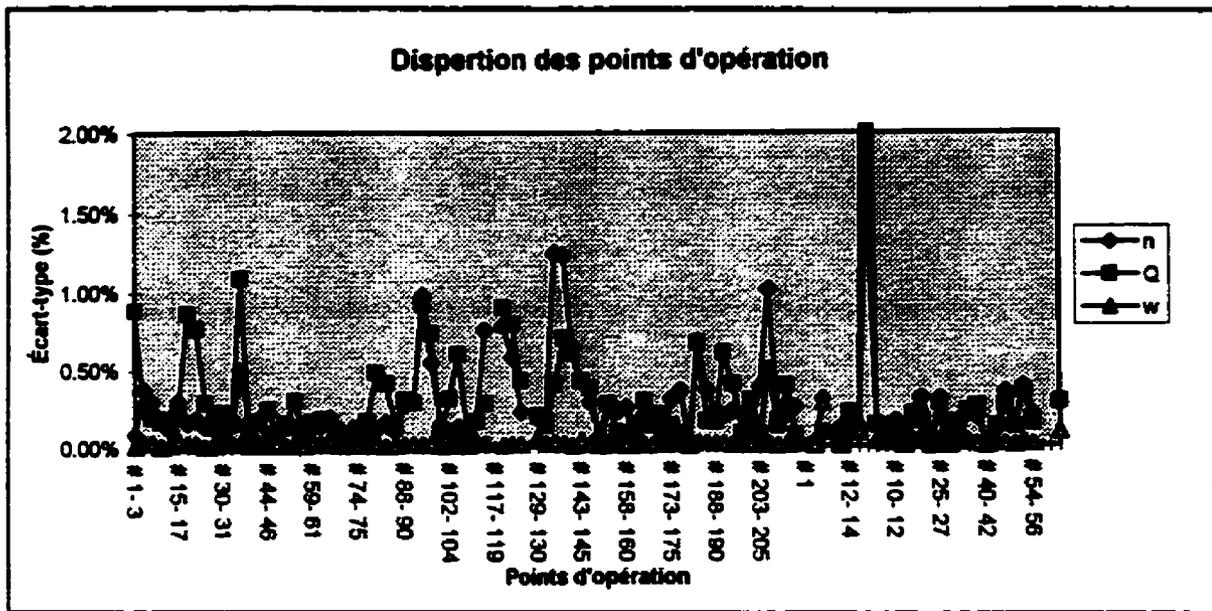


Figure 30 Dispersion des points d'opération d'un essai de rendement: η , Q , N

Notons aussi la très grande corrélation des écarts-types de la chute et du couple, que l'on peut constater sur la Figure 29. Cette figure nous confirme le lien étroit entre les valeurs moyennes de ces deux variables. La Table XIV présente les valeurs moyennes des écarts-types sur l'ensemble de l'essai de rendement ETA_02. On peut constater que la dispersion des valeurs de rendement est bonne, avec 0.27%, même si les dispersions de la chute et du couple sont nettement supérieures : 1.06% et 1.40%. Ce phénomène s'explique aisément par un rendement assez constant de la turbine pour des conditions d'opération rapprochées. Il nous permet en plus de constater que la précision des instruments est meilleure que la dispersion des données.

Table XIV Dispersion moyenne des variables

	η	Q	C	H	N
écart-type	0.27%	0.29%	1.40%	1.06%	0.09%

En effet, considérant le rendement de la turbine constant pour de petites variations de H et de Q , et si nos instruments avaient tous une précision de 1%, on aurait une erreur sur le rendement de l'ordre de 2%. Cependant, s'il s'agit de fluctuations rapides de 1% que nos instruments mesurent avec une précision 0.1%. Le rendement étant considéré constant, on aura toujours la même valeur avec une erreur d'environ 0.2% d'erreur. Ainsi, dans le

cas qui nous concerne, la dispersion de 0.27% du rendement nous indique que la précision de nos instruments est à l'intérieur de notre objectif.

L'observation de ces résultats dynamiques nous permet de conclure que le mode d'échantillonnage, malgré son effet sur la dispersion des moyennes de sous-échantillons, n'influence pas de manière significative la répétabilité des points de mesures. Malgré un temps de mesure de 32.768 secondes et 16384 données, les mesures dynamiques ne présentent par réellement une meilleure répétabilité. Par conséquent la cause de la dispersion des mesures d'un point d'opération est extérieure au système d'acquisition lui-même. Néanmoins, à l'exception de points particuliers, comme nous venons de le dire, la répétabilité des conditions d'opération est plutôt bonne. Les écarts-types sont généralement inférieurs à 1.00%. De plus, la faible variation du rendement de la turbine utilisée lors des essais permet d'obtenir une meilleure répétabilité des résultats que pour chacune des variables utilisées dans le calcul. On doit aussi en déduire que la précision des instruments est meilleure que la précision avec laquelle on peut reproduire un point d'opération et qu'elle devrait être grandement améliorée si on augmente le temps d'attente entre les mesures.

5.1.3 Distribution des données (loi normale)

Pour utiliser les techniques statistiques reconnues sur des échantillons de données, on doit établir quelle loi de distribution représente le mieux ces échantillons. Nous évaluerons d'abord la distribution des valeurs mesurées lors des essais ETA_STAB (annexe C) pour quelques points d'opération par rapport à une loi normale. Puis nous regarderons le résultat d'une analyse similaire faite à partir des mesures dynamiques.

Les histogrammes des points #10 à #13, présentés à la Figure 31, nous montrent des distributions qui varient sensiblement pour des conditions d'opération similaires. On note que la chute s'approche le mieux d'une loi normale, alors que le couple montre des signes évidents de composantes sinusoïdales, qui sont caractérisées par des probabilités élevées à des valeurs symétriques de chaque côté de la moyenne. Cependant, si on s'attarde aux points #23 à #27, on voit que la fluctuation est toujours présente, mais que les tendances sont beaucoup moins claires. Nous avons effectué un test d'homogénéité de χ^2 avec une

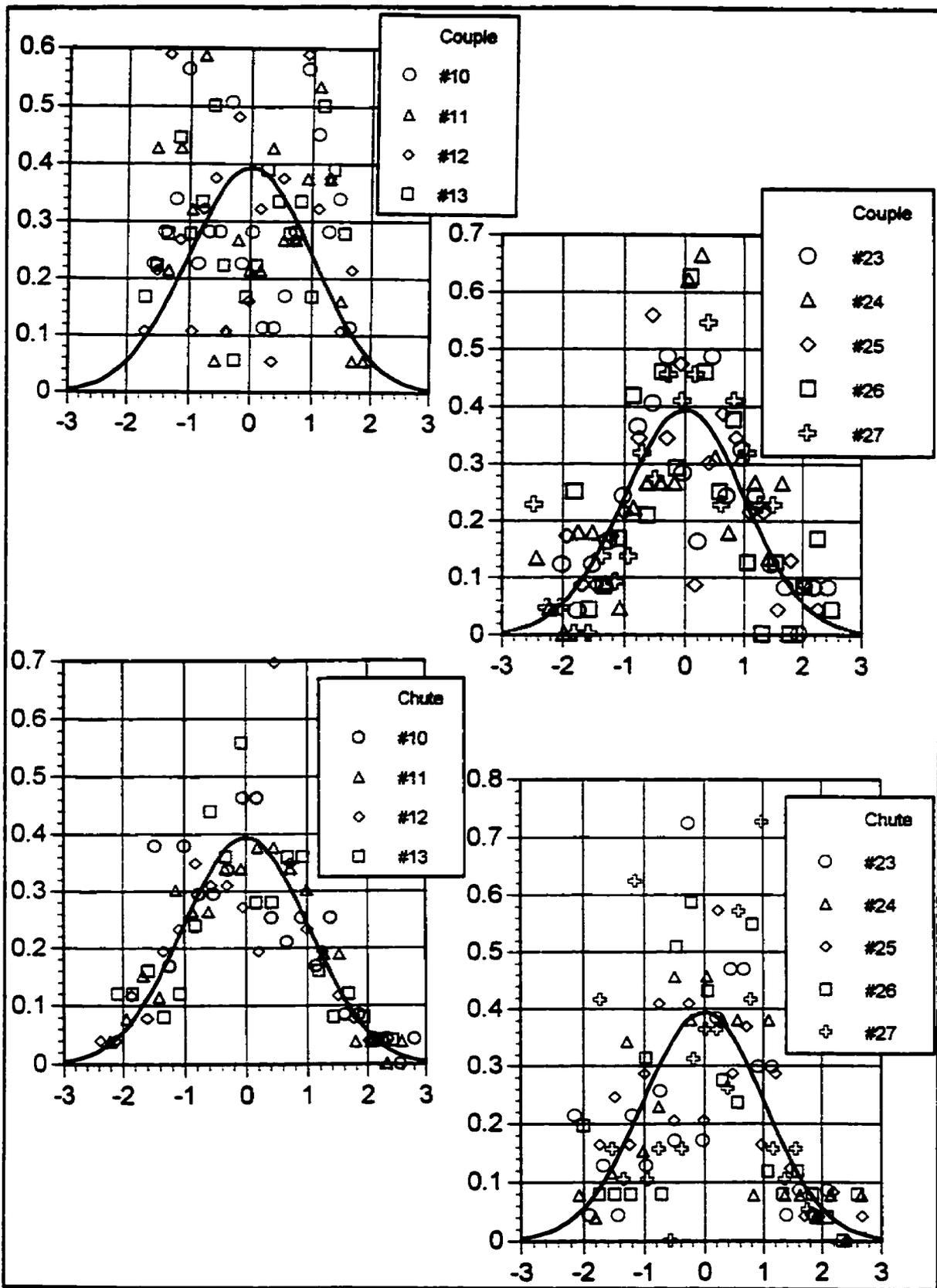


Figure 31 Histogramme des points #10 à #13 et #23 à #27

hypothèse de distribution normale [15, 22]. La Table XV présente les résultats de ce test.

Table XV Test d'hypothèse: Distribution normale pour les essais ETA_STAB

Points	10	11	12	13		23	24	25	26	27
H	95%	98%	45%	86%		0%	3%	32%	57%	2%
C	0%	0%	0%	0%		72%	53%	4%	57%	25%
Points	56	57	58	59	60	66	67	68	69	70
H	0%	0%	2%	2%	0%	6%	1%	0%	0%	0%
C	0%	0%	26%	0%	3%	38%	1%	0%	1%	45%

Les valeurs indiquent, en fonction du degré de liberté, le niveau de confiance auquel l'hypothèse de distribution normale est respectée. Cette valeur est en fait le complément à 100% de l'intervalle de confiance requis pour accepter l'hypothèse. Par conséquent, une valeur de 100% indique une loi normale, alors que 0% est un rejet complet de l'hypothèse de normalité. L'annexe F renferme un complément mathématique sur le test d'hypothèse de χ^2 . On voit que les résultats varient passablement, même pour des conditions semblables et qu'en général, l'hypothèse de normalité ne peut être acceptée. Le mode d'échantillonnage n'étant pas continu sur les séries de 100 lectures qui ont servi à la construction des histogrammes, on peut croire qu'il est la cause du changement dans la distribution des valeurs.

L'analyse des données dynamiques nous révèle une distribution beaucoup plus stable. On remarque aisément de la Figure 32 à la Figure 34 que les différentes mesures d'un même point d'opération présentent une distribution mieux regroupée. Le couple présente une distribution normale presque parfaite pour les points 2008xx et 2010xx. Cependant, on note, avec une évidence frappante, la présence d'une composante sinusoïdale à 1200 rpm (2012xx). Ce résultat nous amène à croire qu'un phénomène de résonance se produit à cette vitesse particulière et influence grandement nos mesures. Pour la chute, l'hypothèse de normalité est moins bien respectée. On remarque des tendances au niveau de la distribution des données mais elles ne sont pas très nettes. Par contre, en ce qui concerne la vitesse de rotation de la turbine, la distribution par point d'opération est bien regroupée. Néanmoins, le profil de distribution pour chacune des trois vitesses est nettement différent.

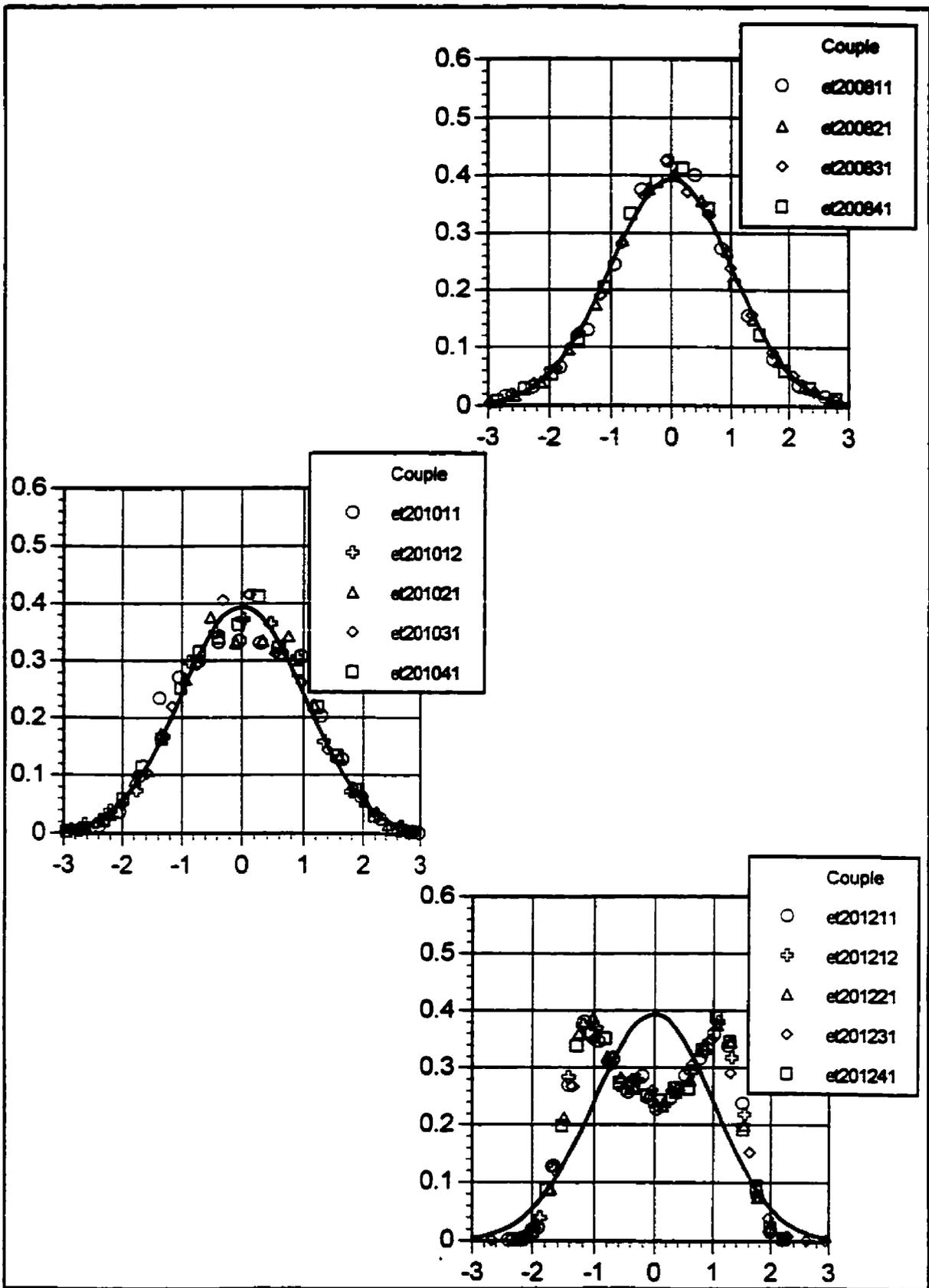


Figure 32 Histogramme des mesures dynamiques du couple

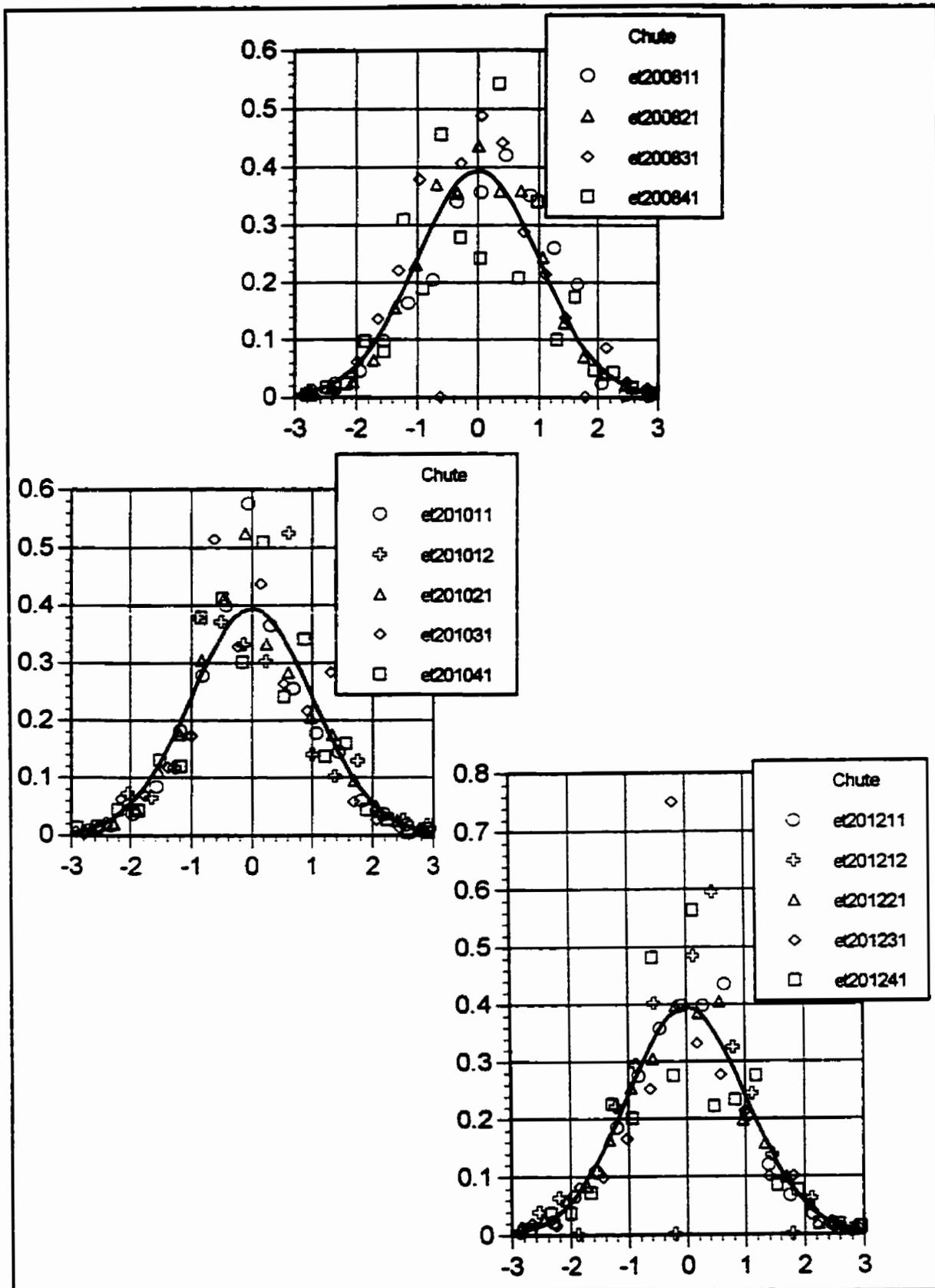


Figure 33 Histogramme des mesures dynamiques de la chute

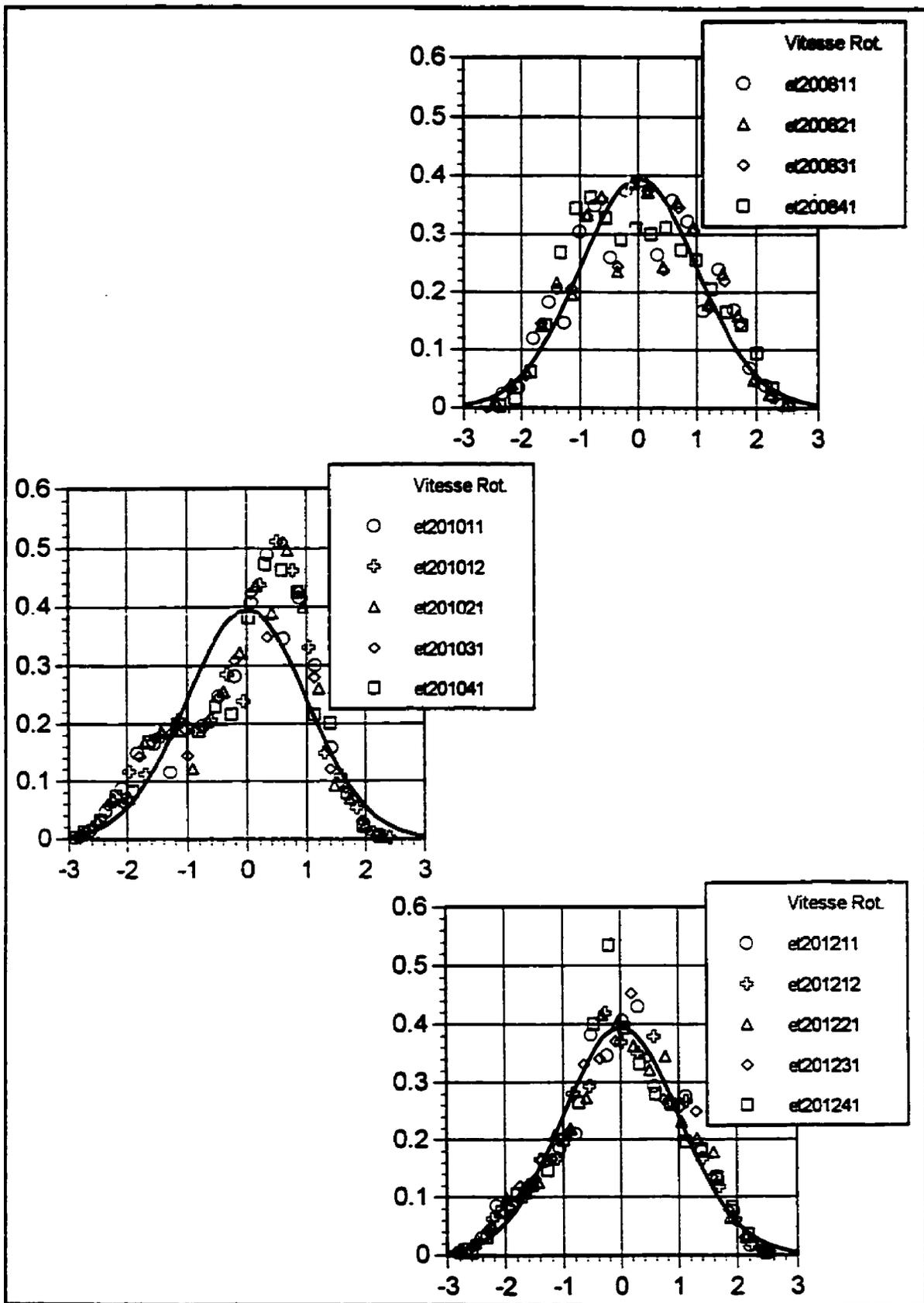


Figure 34 Histogramme des mesures dynamiques de la vitesse de rotation

Suite à l'observation de ces résultats, on doit conclure que les données ne se conforment pas à une loi normale et que la cause est extérieure au système d'acquisition. De plus, on doit aussi noter que le mode d'échantillonnage actuel ne permet pas de bien représenter la distribution des mesures. Néanmoins, l'ensemble des données se trouve à l'intérieur d'un intervalle de ± 2.00 écarts-types. Au delà de cette limite, la différence par rapport à une loi normale est très faible. On peut donc considérer, pour l'ensemble des mesures, que l'intervalle de confiance de 95% d'une loi normale (± 1.96 écarts-type) est plus grand ou égal à celui des données mesurées. Ainsi, même si la distribution des données n'est pas normale, on peut utiliser l'hypothèse de normalité pour nos données sans commettre une erreur significative pour autant que l'on utilise toujours des intervalles de 95% ou plus.

5.1.4 Ergodicité des données

L'ergodicité d'un phénomène permet d'en tirer les propriétés statistiques à partir d'un échantillon de grandeur finie. Si nos données sont ergodiques, nous pouvons prendre des échantillons de H , Q , C et ω à des moments t_i différents sans pour autant commettre une erreur significative dans l'évaluation des moyennes de chaque variable sur la durée totale de l'ensemble des mesures. Par contre, si nos données ne sont pas ergodiques, nous devons avoir pour chaque variable une quantité suffisante d'échantillons répartis sur la durée totale de la mesure de manière à obtenir une bonne évaluation de la moyenne de chacun des signaux.

Pour établir si nos données sont ergodiques, nous observerons les résultats des mesures ETA_STAB (annexe C, pages 233 à 236), puis ceux des données dynamiques DYN_01 (annexe E, pages 259 à 267). Nous porterons notre attention sur les moyennes des sous-échantillons et la moyenne pour l'ensemble des données pour chaque point de mesures, puis sur les moyennes de tous les sous-échantillons qui ont les mêmes consignes d'opération. Comme on l'a déjà constaté, les intervalles de confiance varient beaucoup d'un point d'opération à l'autre. Éliminons donc pour l'instant les points #10 à #13 et #23 à #27 pour nous concentrer sur les points qui ont un intervalle de confiance plus petit, soit les points #56 à #60 et #66 à #70.

Dans la première série de mesures du couple, les sous-échantillons sont dispersés autour

Table XVI Dispersion des moyennes de sous-échantillons par point de mesures

Points	<i>C</i>	($e_{95\%}$)	<i>H</i>	($e_{95\%}$)	<i>N</i>	($e_{95\%}$)
#56	802.549	0.59%	20.177	0.32%	789.092	0.17%
#57	804.029	0.66%	20.236	0.58%	789.388	0.17%
#58	807.987	0.39%	20.287	0.23%	789.409	0.12%
#59	804.325	0.58%	20.212	0.24%	789.079	0.16%
#60	803.585	0.50%	20.197	0.26%	789.320	0.15%
Ens	804.495	0.66%	20.222	0.48%	789.258	0.06%
Points	<i>C</i>	($e_{95\%}$)	<i>H</i>	($e_{95\%}$)	<i>N</i>	($e_{95\%}$)
#66	806.649	0.36%	20.258	0.17%	787.977	0.11%
#67	806.528	0.52%	20.240	0.30%	788.458	0.16%
#68	805.618	0.56%	20.230	0.25%	788.038	0.18%
#69	805.894	0.26%	20.231	0.22%	788.273	0.15%
#70	805.348	0.46%	20.227	0.33%	788.200	0.16%
Ens	806.007	0.40%	20.237	0.25%	788.189	0.07%

de la moyenne de l'ensemble des données avec un intervalle de confiance de 95% d'environ $\pm 0.60\%$. Lorsque l'on étend le calcul de la moyenne à tous les points de mesures ayant la même consigne d'opération, cet intervalle passe à $\pm 0.66\%$. La Table XVI renferme les moyennes des sous-échantillons pour les points de mesures que nous avons retenus. En observant les données de la chute et de la vitesse de rotation pour les points #56 à #60, on constate des intervalles de $\pm 0.48\%$ et $\pm 0.06\%$ pour l'ensemble des sous-échantillons de ces cinq points. Si on regarde les points #66 à #70, les résultats sont $\pm 0.40\%$, $\pm 0.25\%$ et 0.07% . La Figure 35 et la Figure 36 nous montrent l'évolution des moyennes pour chaque point de mesures. On constate sur ces figures que les valeurs des points #66 à #70 sont plus regroupées que celles des points #56 à #60.

Pour que nos données soient considérées ergodiques, il faut qu'un échantillon soit représentatif de l'ensemble des données. Comme nous l'avons vu au chapitre 3, les erreurs attendues sur le couple, la chute et la vitesse de rotation sont respectivement de 0.23%, 0.19% et 0.03%. À partir des valeurs présentées à la Table XVI, on est forcé d'admettre que les moyennes d'ensembles d'un point d'opération ne peuvent pas, avec le mode d'échantillonnage actuel, être estimées à l'intérieur de la précision attendue avec la

moyenne d'un sous-échantillon. Par conséquent, on ne peut pas les considérer comme ergodiques.

La Table XVII présente les résultats d'une analyse similaire des données des mesures dynamiques comparés à ceux qu'on a obtenus pour les essais ETA_STAB. Bien que l'échantillonnage à 500 Hz soit continu sur 30 secondes, les résultats ne présentent pas d'amélioration significative. Les figures aux pages 259 à 267 de l'annexe E nous montrent aussi une fluctuation importante des moyennes de sous-échantillons. On doit donc encore une fois considérer que les données ne sont pas ergodiques et que les sous-échantillons d'une seconde n'estiment pas avec suffisamment de précision les propriétés moyennes d'un point d'opération.

Table XVII Dispersion des moyennes de sous-échantillons

(e _{95%})	Points	C	H	N
	#2008xx	0.43%	0.44%	0.22%
	#2010xx	1.29%	0.65%	0.22%
	#2012xx	2.05%	0.76%	0.19%
	#10 à #13	2.10%	0.73%	0.03%
	#23 à #27	2.35%	1.76%	0.04%
	#56 à #60	0.66%	0.48%	0.06%
	#66 à #70	0.40%	0.25%	0.07%

On constate que le mode d'échantillonnage n'affecte pas l'ergodicité des données. Comme précédemment, nous croyons donc qu'un phénomène extérieur au mode d'échantillonnage affecte le fonctionnement de la boucle d'essai. On doit alors porter une attention particulière à l'échantillonnage des variables qui ne peuvent pas actuellement être échantillonnées simultanément.

5.1.5 Résumé des analyses statistiques

Les différentes analyses statistiques nous ont révélé d'abord que les données mesurées sont assez stables et que la répétabilité n'est pas influencée de manière significative par le mode d'échantillonnage. On constate aussi que la répétabilité est moins bonne que la précision

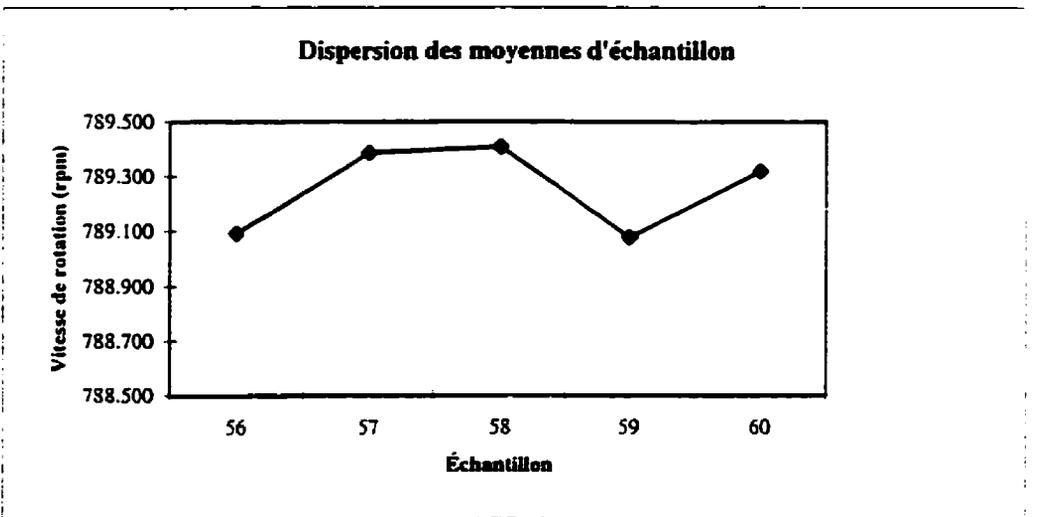
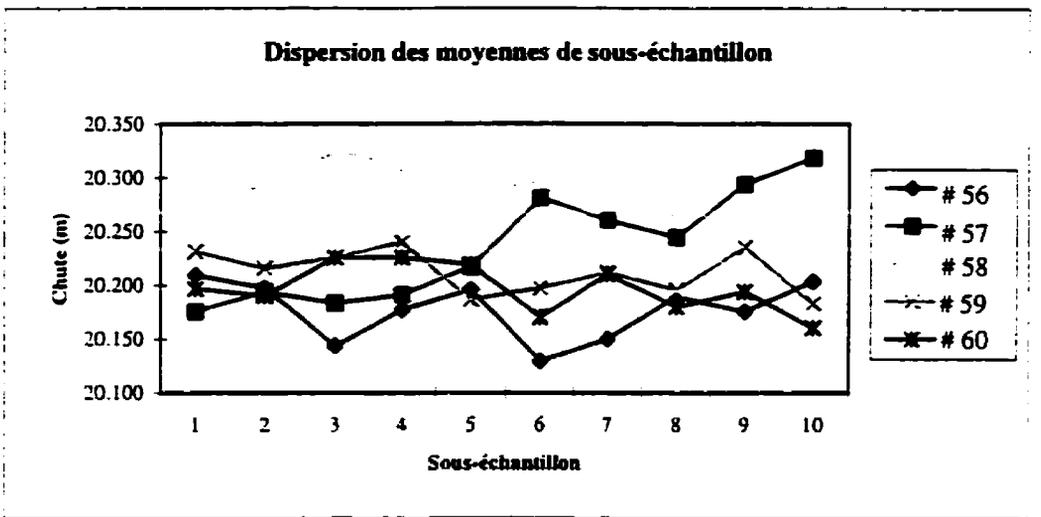
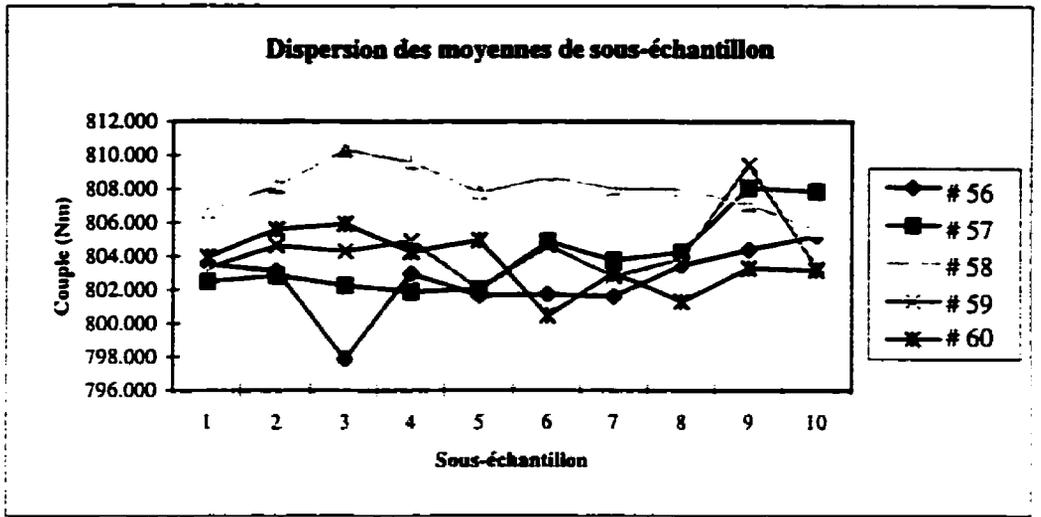


Figure 35 Dispersion des moyennes de sous-échantillons, points #56 à #60

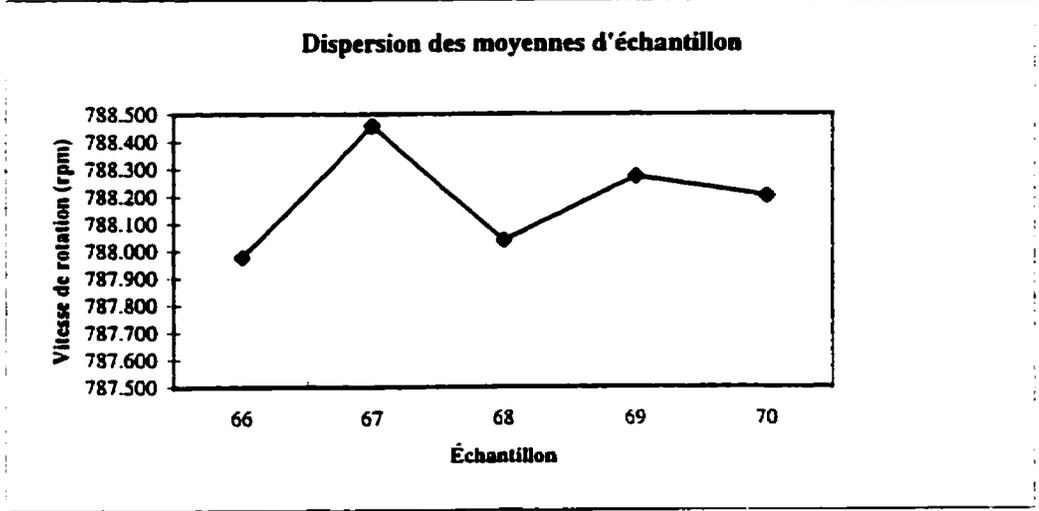
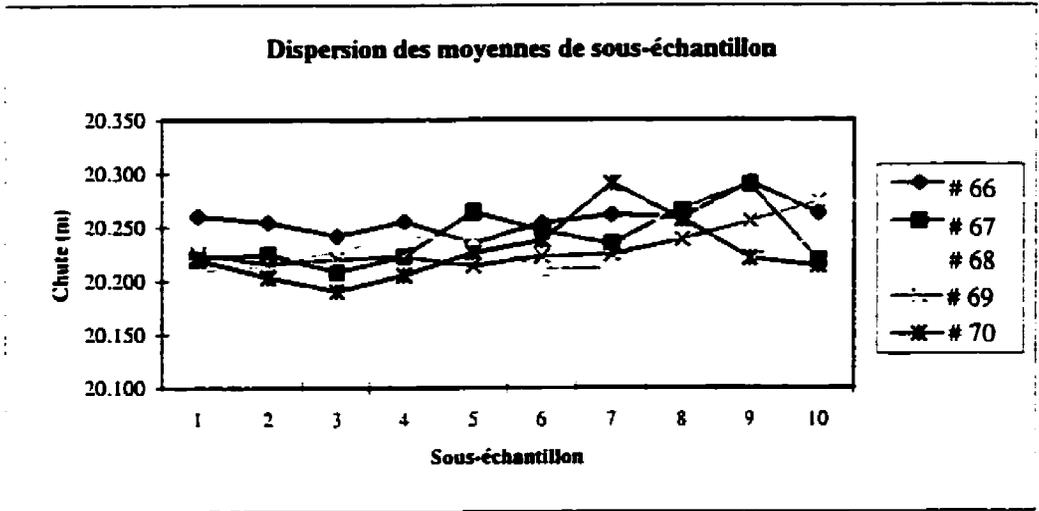
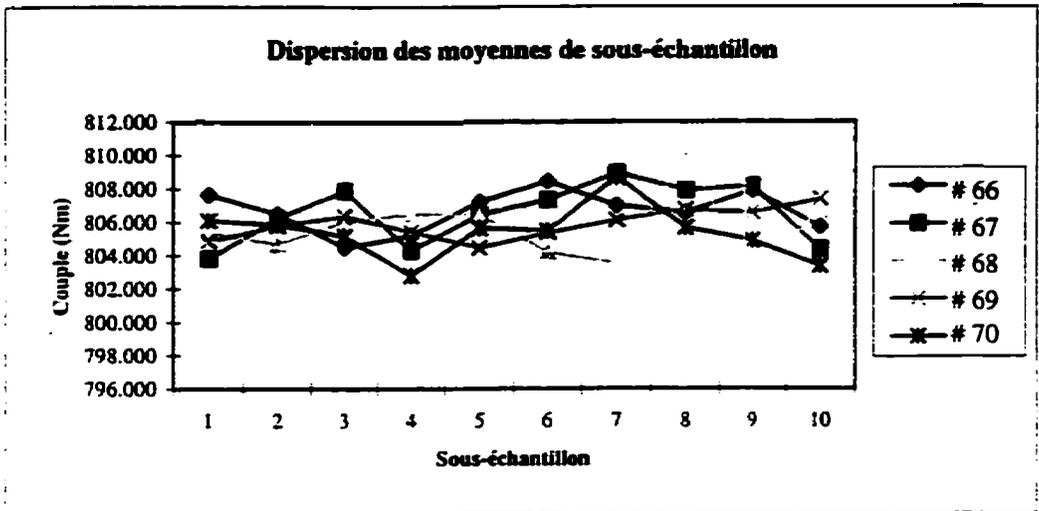


Figure 36 Dispersion des moyennes de sous-échantillons, points #66 à #70

des instruments de mesure. Cela nous mène à croire que des causes extérieures au système d'acquisition sont probablement à l'origine de ce problème.

L'analyse de distribution nous montre par contre que le mode d'échantillonnage a un effet important sur la distribution statistique des mesures et qu'il peut, de ce fait, influencer nos analyses. Néanmoins, on a vu que les limites d'un intervalle de confiance de 95% d'une loi normale peuvent être appliquées sans trop d'erreur à nos données, indépendamment du mode d'échantillonnage.

Finalement, les données des sous-échantillons ne représentent pas avec assez de précision les caractéristiques d'ensemble de nos données pour que l'on puisse les considérer comme ergodiques. Encore une fois, on peut croire que la cause est extérieure au système d'acquisition. Nous tenterons de justifier cette hypothèse et d'en identifier la cause dans l'analyse en fréquences des mesures dynamiques DYN_01 que nous verrons un peu plus loin dans ce chapitre.

5.2 Zone de fonctionnement du banc d'essai

Pour connaître quelle gamme de turbines peut être testée sur le banc d'essai, on doit en établir l'enveloppe d'opération. Les limites de cette zone n'ont pas à être déterminées d'une manière extrêmement précise. Il s'agit plutôt de déterminer approximativement les limites du banc d'essai de manière à choisir des modèles de turbines pour lesquels la plage d'opération reste clairement à l'intérieur de ces limites.

Nous avons donc établi, au début du projet, une enveloppe d'opération théorique du banc d'essai. Nous exposerons de quelle manière nous avons établi cette enveloppe, puis nous la comparerons à la zone couverte lors des essais de rendement de la turbine du Dr Netsch. Nous discuterons ensuite des écarts et des concordances de manière à évaluer la prédiction que nous avons faite et la procédure utilisée lors de la validation.

5.2.1 Enveloppe d'opération théorique

L'enveloppe d'opération est déterminée par la courbe de fonctionnement de la pompe, les pertes par friction dans la boucle, le couple maximum du dynamomètre, la capacité du débitmètre et la chute minimum requise (voir la Figure 37).

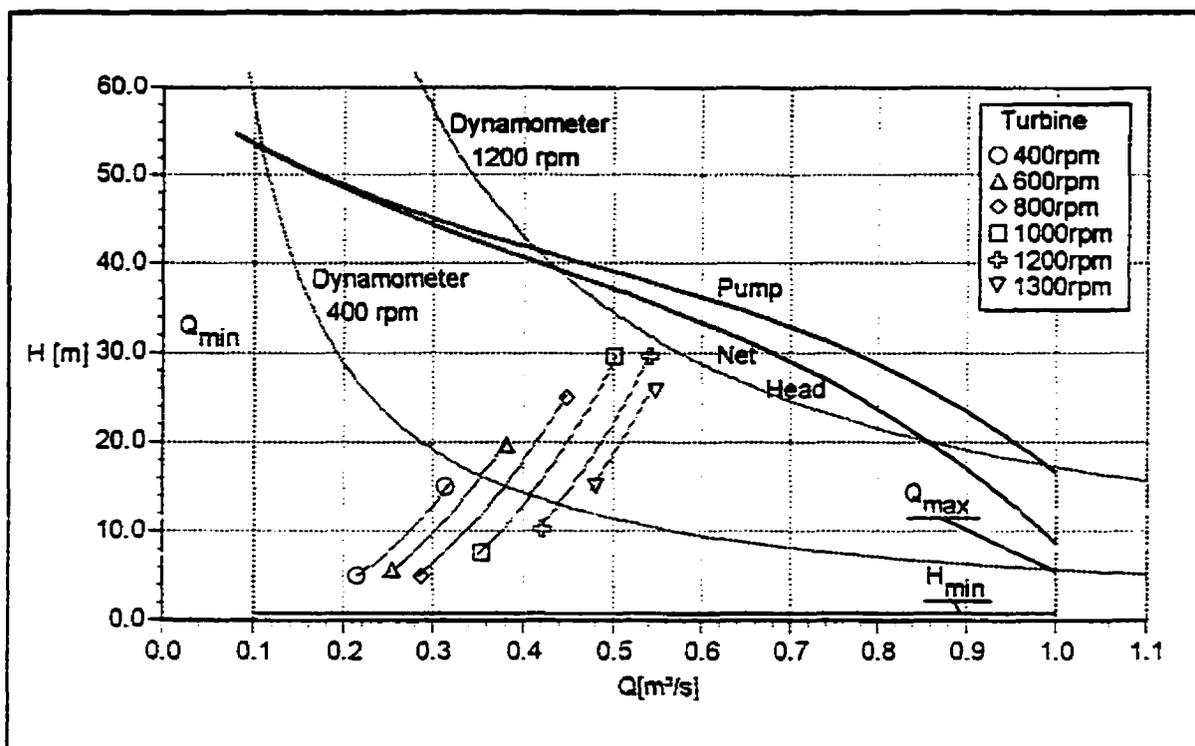


Figure 37 Enveloppe d'opération du banc d'essai

La courbe de perte par friction a été obtenue en modélisant les éléments de la boucle à l'aide d'un logiciel de calcul d'écoulement (RESPIP). Les pertes ainsi calculées ont été soustraites de la courbe d'opération de la pompe pour produire la courbe de chute nette du système. Les deux courbes du dynamomètre ont été calculées à partir de l'équation (8). Nous avons utilisé le couple nominal du dynamomètre et assumé un rendement théorique du modèle de 80% (valeur attendue pour le premier modèle à tester) pour deux vitesses de rotation du modèle, 400 rpm et 1200 rpm. La limite inférieure du débit $Q_{min} = 0.1$ m³/s est imposée par la précision du débitmètre, alors que la limite supérieure $Q_{max} = 1.0$ m³/s est déterminée par les limites d'opération de la pompe. La chute minimum $H_{min} = 0.8$ m est limitée par le diamètre de la turbine modèle (0.5 m) en accord avec le standard IEC énoncé à la Table III, chapitre 2.

5.2.2 Enveloppe réelle des essais

Les courbes 400 rpm à 1300 rpm représentent la plage de fonctionnement couverte lors des essais de rendement de la turbine du Dr Netsch. Afin d'identifier le point de fonctionnement optimum, nous avons débuté avec une vitesse de rotation de la turbine de 400 rpm. Nous avons alors varié la chute à partir de 5 m jusqu'à la limite supérieure imposée par notre système. Cette limite inférieure de 5 m a été choisie pour éviter une zone de fonctionnement difficile de la pompe, identifiée lors des démarrages de la boucle. Nous avons répété cette procédure jusqu'à 800 rpm. Puis nous avons graduellement augmenté la limite inférieure, ayant à ce moment, établi la tendance du point optimum de fonctionnement en fonction de la vitesse de rotation.

En regardant les deux courbes du dynamomètre à 400 rpm et 1200 rpm, on constate qu'elles coïncident assez bien avec la limite supérieure de nos courbes de turbine aux vitesses correspondantes. On peut en déduire que c'est aussi le cas pour les autres courbes intermédiaires et que, de ce fait, le dynamomètre impose une limite importante à la plage que nous pouvons couvrir. De plus, comme la turbine testée ne possède pas d'organe de réglage du débit, il nous était impossible de nous éloigner de la courbe caractéristique de vitesse de la turbine et par conséquent, de couvrir une plage plus grande de fonctionnement. On doit cependant porter une attention particulière à la courbe 1300 rpm de la turbine. On remarque que la limite supérieure de cette courbe est inférieure à celle à 1200 rpm. Étant donné la vitesse plus grande, la courbe du dynamomètre doit être un peu plus haute ; on se serait donc attendu à obtenir une chute maximale légèrement supérieure comparativement à la courbe précédente. On doit en déduire que la limite est, cette fois-ci, imposée par la pompe et les pertes du système. Il en découle que la courbe estimée de chute nette est un peu trop élevée et que la zone de fonctionnement actuelle serait légèrement inférieure à la courbe théorique présentée. Notons aussi que le débit maximum est légèrement supérieur à la limite théorique, fixée à 1.0 m³/s. On remarquera à la Figure 18, au chapitre 4, que les essais STAB_OP avaient permis d'atteindre un débit maximum de 1.1 m³/s avec une chute nulle et un débit de 1.04 m³/s avec une chute nette à la section d'essai de 7 m.

5.3 Erreur expérimentale actuelle du banc d'essai

Comme nous l'avons vu au chapitre 3, l'erreur sur le rendement résulte de la propagation des erreurs de chaque instrument dans le calcul du rendement. Nous débuterons donc cette section en rappelant les erreurs obtenues lors de l'étalonnage des instruments et nous les comparerons avec la dispersion des données obtenues lors des mesures dynamiques DYN_01. Nous comparerons les résultats et tenterons d'expliquer les différences. Puis nous regarderons la dispersion des moyennes pour un même point d'opération tout au long de la seconde campagne de mesures de rendement ETA_02. Ici encore, nous observerons les écarts par rapport aux résultats des étalonnages. Finalement, nous mettrons en évidence les variables qui influencent le plus l'erreur sur le rendement.

La Table XVIII présente l'erreur sur les variables mesurées lors de l'étalonnage des capteurs, des mesures dynamiques DYN_01 et des mesures du rendement ETA_02. Les données dynamiques sont le résultat de la moyenne de quatre points de mesures ayant chacun 16364 points répartis sur 32 secondes. Les sous-échantillons sont des sous-ensembles d'une seconde de l'échantillonnage dynamique, ils comprennent donc 512 points chacun. La dernière colonne présente l'erreur sur le rendement. Le débit n'étant pas

Table XVIII Erreur (e95%) sur les variables utilisées dans le calcul de rendement

(e95%)	<i>Q</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	η
Étalonnage	0.19%	0.06%	0.23%	0.004%	0.30%
Données dynamiques					
800 rpm	---	5.99%	0.55%	3.15%	---
1000 rpm	---	2.72%	0.60%	2.45%	---
1200 rpm	---	11.58%	0.55%	3.07%	---
Moyenne	---	6.77%	0.57%	2.89%	---
Sous-échantillons dynamiques					
800 rpm	---	0.36%	0.18%	0.21%	---
1000 rpm	---	0.51%	0.19%	0.20%	---
1200 rpm	---	0.61%	0.22%	0.17%	---
Moyenne	---	0.49%	0.19%	0.19%	---
ETA_02	1.25%	6.02%	4.56%	0.39%	1.16%

mesuré dynamiquement, le rendement n'est pas calculé sur ces données et il en va de même pour l'erreur sur le rendement. De plus, l'erreur sur le rendement inscrite sur la dernière ligne de la table provient de la dispersion des résultats du calcul de rendement pour chaque point et non du calcul de la propagation des erreurs de chaque variable qui entre dans le calcul du rendement. Notons aussi que pour les mesures de rendement, nous avons effectué en général trois mesures pour un même point d'opération et qu'en conséquence, l'intervalle $e_{95\%}$ est de ± 4.3 écart-types comparativement à des échantillons plus nombreux pour lesquels le même intervalle est de ± 2 écart-types.

En comparant les données dynamiques à l'étalonnage des instruments, on constate que la dispersion des données dynamiques est nettement plus grande. On doit alors en déduire qu'il s'agit d'une fluctuation réelle des valeurs et non l'erreur de nos instruments. Si l'on calcule les moyennes sur des sous-échantillons de une seconde, on note une dispersion beaucoup plus petite des valeurs, bien que celle-ci soit encore plus grande que la précision obtenue lors de l'étalonnage des instruments.

Si on fait la même comparaison avec les mesures de rendement ETA_02 (dernière ligne de la table), on constate aussi une dispersion très grande des valeurs :

$$\epsilon_Q \approx 1.25\% \quad \epsilon_C \approx 6.02\% \quad \epsilon_{p_{1,2}} \approx 4.56\% \quad \epsilon_w \approx 0.39\% \quad \epsilon_\eta \approx 1.16\%$$

Pourtant, la dispersion de rendement est inférieure à la somme des erreurs, tel que le montre l'équation (37) :

$$\epsilon_\eta = \sqrt{0.39^2 + 6.02^2 + 4.56^2 + 1.25^2} \approx \pm 7.66\% \quad (37)$$

Ce fait troublant mérite plus d'attention. Normalement, l'erreur sur le rendement provenant de la somme des erreurs sur les variables, on devrait avoir une dispersion des valeurs de rendement d'un ordre de grandeur similaire à celui du résultat de l'équation (37). Il nous faut comprendre la raison de cet écart. On sait que la turbine testée a été conçue pour présenter une courbe de rendement assez plate sur une large bande de fonctionnement. Posons donc l'hypothèse que pour de petites fluctuations de la chute et du débit, le rendement est constant. Ainsi, indépendamment des oscillations de H et de Q , on mesure toujours le même rendement. Si les oscillations sont dues à la précision des instruments, elles seront indépendantes les unes des autres et aléatoires. Il en découle que le rendement calculé à partir de ces variables variera tout autant que ces dernières. Par contre, si les

oscillations sont des fluctuations réelles que les capteurs mesurent très précisément, alors, les oscillations seront corrélées sur tous les capteurs car on a admis que le rendement de la turbine était constant. Il en découle que le calcul du rendement, dans ce cas particulier, donnera toujours le même résultat. Si on rejette l'hypothèse d'un rendement pratiquement constant, il est impossible d'expliquer l'écart entre l'erreur calculée (7.66%) et la dispersion des résultats (1.16%). On doit conclure que le rendement de la turbine est très stable pour des points d'opération proches et qu'ainsi, la précision sur le rendement est meilleure que la fluctuation des variables utilisées pour le calcul du rendement. Cette constatation nous rassure sur la précision de nos capteurs. On peut donc affirmer que la précision de nos capteurs est meilleure que 1.16%, car on peut s'attendre à ce que la somme de erreurs de ceux-ci soit près de la dispersion mesurée.

Néanmoins, cette constatation n'est pas satisfaisante car nous visons une précision entre 0.3% et 0.6% sur la mesure du rendement. Comme nous l'avons mentionné, l'intervalle de confiance est assez grand parce que le facteur de correction (loi de Student) est d'environ 4.3 pour une population de trois éléments sur lesquels on fait la moyenne d'un point d'opération.

De plus, on a vu que la procédure d'opération de la boucle avait aussi une influence sur la fluctuation du point d'opération. Lors de l'évaluation de la répétabilité, à la Figure 29 de la section 5.1.2, on voyait bien que la dispersion des mesures varie pendant l'opération du banc d'essai. On peut également constater sur la même figure que la dispersion des 50 derniers points de mesures est nettement inférieure à la moyenne de l'ensemble de l'essai. Ceci nous laisse entrevoir une précision probablement meilleure de nos capteurs.

On peut donc reconnaître, dans le cas présent, une précision d'environ $\pm 1\%$ aux mesures de rendement. Cependant, pour des conditions où le taux de variation du rendement serait plus grand, on constaterait une dispersion plus grande des résultats. En conséquence, cette précision ne saurait être attribuée au banc d'essai ; elle est plutôt attribuable aux essais de cette turbine.

On devra donc, dans l'avenir, modifier le mode d'échantillonnage de manière à réduire la dispersion des données. On devra aussi améliorer la répétabilité des points d'opération.

Pour corriger la situation, on devra d'abord observer attentivement le couple et la chute qui présentent la moins bonne répétabilité. Toutes les analyses que nous avons effectuées jusqu'à maintenant nous obligent à conclure que les conditions d'opération de la boucle sont perturbées, et les données aussi par la même occasion. Pour cette raison, la prochaine section de ce chapitre traite de l'analyse en fréquences des mesures dynamiques, afin d'identifier les causes possibles de ces perturbations.

5.4 Analyses en fréquences des mesures dynamiques

Pour faire l'analyse en fréquences, nous avons effectué une transformée de Fourier (FFT) sur les signaux dynamiques que nous avons recueillis. L'annexe F renferme un complément mathématique sur la transformée de Fourier. Chaque enregistrement comprenait 16 384 points, et les FFT ont été effectuées sur des sous-intervalles de 1024 points. Les graphiques ainsi obtenus sont donc des moyennes de 16 FFT ayant une résolution d'environ 0.5 Hz. Nous observerons d'abord le contenu de 0 à 250 Hz. Nous examinerons alors les différents signaux pour un même point d'opération et aussi pour des points différents. Nous nous attarderons ensuite avec plus d'attention sur le contenu de 0 à 50 Hz. Au cours de ces observations, nous tenterons de comprendre les fluctuations des signaux et d'en identifier les causes. Finalement nous comparerons, à titre d'exemple, un signal filtré numériquement à 6 Hz avec le signal original et les valeurs de sous-échantillons de manière à évaluer l'effet d'une telle procédure sur la dispersion des données.

Les graphiques d'analyse des données dynamiques étant très nombreux, nous les avons regroupés à l'annexe E, aux pages 268 à 295. Il y a deux séries de 14 graphiques, une pour la bande de fréquences 0-50 Hz (pages 268 à 281) et l'autre pour la bande 0-250 Hz (pages 282 à 295). Comme nous avons pris 14 mesures, il y a donc deux graphiques pour chaque mesure. Chaque mesure est numérotée au moyen d'un code permettant d'identifier le point d'opération de la boucle, la position de la sonde de Pitot et le numéro séquentiel de la mesure si plusieurs mesures ont été faites dans les mêmes conditions. La numérotation se décode comme suit :

EThhnnps hh : Chute d'essai en m
 nn : Vitesse de rotation de la turbine en rpm/100
 p : Position de la sonde de Pitot

- 1 : Sortie de la cuve (Section I Figure 19, Chapitre 4)
 - 2 : Entrée des directrices (Section II Figure 19, Chapitre 4)
 - 3 : Sortie des directrices (Section III Figure 19, Chapitre 4)
 - 4 : Sortie de la turbine (Section IV Figure 19, Chapitre 4)
- s : Numéro séquentiel de la mesure

Ainsi, l'essai ET201012 renferme les données de la seconde mesure faite avec la sonde de Pitot positionnée dans la section I (sortie de la cuve) sous une chute d'essai d'environ 20 m et avec une vitesse de rotation de la turbine de 1000 rpm. On trouve donc deux graphiques pour cette mesure : un pour la bande 0-50 Hz (page 273, annexe E) et un pour la bande 0-250 Hz (page 287, annexe E).

Les 14 mesures se résument comme suit : Toutes les mesures sont faites sous environ 20 m de chute. Nous avons pris des mesures pour trois vitesses de rotation de la turbine, soit 800 rpm, 1000 rpm et 1200 rpm. Pour chaque vitesse de rotation, nous avons fait 4 lectures. À chaque lecture, nous avons changé la position du tube de Pitot alors que les autres capteurs demeuraient au même endroit. Nous avons de plus repris une seconde fois les essais ET201011 et ET201211, ce qui nous fait un total de 14 mesures dynamiques simultanées sur huit canaux. Les canaux sont affichés sur chaque graphique dans l'ordre croissant de haut en bas. On voit à la Table XIX l'affectation des différents canaux.

Table XIX Liste des canaux utilisés pour la mesure dynamique

# Canal	Variables	Gains
1	Pression en amont de la turbine	24.4 psi/V
2	Chute d'essai	14.7 m/V
3	Pression en aval de la turbine	6.505 psi/V
4	Pression à la sortie de la pompe	-50 psi/V
5	Couple	494 Nm/V
6	Vitesse de rotation de la turbine	-1000 rpm/V
7	Δp pression totale du Pitôt et pression de référence	1 m H ₂ O/V
8	Δp gauche-droite du Pitôt	1 m H ₂ O/V

5.4.1 Analyses 0-250 Hz

On constate d'abord que le contenu en fréquences des six premiers canaux est presque identique pour les quatre mesures d'un même point d'opération. Il est normal de voir cette

forte similarité car seule la sonde de Pitot est déplacée pour ces quatre mesures. Conséquemment, seuls les canaux 7 et 8 voient une condition différente.

Si on s'attarde aux signaux de pression (canaux 1 à 4), on remarque que leur contenu en fréquences est assez constant pour les trois vitesses de rotation de la turbine que nous avons choisies. On peut donc en conclure que la pression est indépendante de la vitesse de rotation de la turbine. Si on observe plus particulièrement la pression amont (canal 1) et la pression de la pompe (canal 4), on remarque une disparition presque complète du contenu en fréquences au dessus de 10 Hz sur le canal 1. On peut poser deux hypothèses pour expliquer cela. D'abord, la position d'un capteur unique à la sortie du coude de la pompe peut expliquer le contenu en fréquences très riche du canal 4. Ces perturbations seraient ensuite diminuées tout au long de l'écoulement et l'effet local des perturbations amoindri par l'utilisation de quatre prises de pression présentant une valeur moyenne au capteur du canal 1. On peut aussi supposer que la cuve amont amortit les petits tourbillons à hautes fréquences, mais que les tourbillons plus importants, à basses fréquences, restent présents dans l'écoulement. Il serait intéressant de vérifier l'évolution du signal de pression tout au long de la boucle afin d'établir l'effet des différents éléments sur l'amortissement des perturbations. Comme on a de plus montré que la pression est peu influencée par la vitesse de rotation de la turbine, ces observations pourraient être faites sans la présence d'une turbine ; une simple perte de charge équivalente serait suffisante.

Le signal du canal 7 représente la pression totale du Pitot par rapport à une pression de référence, alors que celui du canal 8 représente la différence de pression gauche-droite du tube de Pitot. On remarque pour les trois vitesses de rotation de la turbine, et dans la section I et II seulement, un contenu en fréquences important autour de 63 Hz. Ce contenu en fréquences disparaît après les directrices car il est absent des signaux aux sections III et IV pour les trois points d'opération. On peut imaginer qu'il s'agit de perturbations résiduelles en sortie de cuve qui sont éliminées par le passage du fluide au travers des directrices. Si on s'attarde plus particulièrement au canal 8, on remarque que le contenu en fréquences 0-50 Hz est plus riche et plus fort au point 200811 qu'aux trois autres positions du Pitot. Ce phénomène se produit de nouveau à 1000 et 1200 rpm, mais à un niveau moins prononcé. L'explication la plus probable est que des perturbations présentes

à la sortie de la cuve sont à l'origine de ces fluctuations et qu'elles s'estompent à mesure que l'écoulement se développe.

Enfin, lorsque la turbine tourne à 1200 rpm (20 Hz), on remarque une augmentation marquée de l'énergie à la fréquence 20 Hz pour les signaux 3, 4, 5 et 6, et aussi sur les canaux 7 et 8 à quelques reprises. On constatera que cette fréquence est également présente dans le signal de la pompe. Le signal de la pompe étant pris par un seul capteur à la sortie d'un coude, on peut se demander si cette fréquence ne serait pas plus apparente si la pression avait été prise sur quatre points et un peu après le coude. On devra assurément porter une attention particulière dans nos analyses à cette fréquence.

5.4.2 Analyses 0-50 Hz

L'observation du contenu en fréquences des différents signaux montre qu'une partie importante de l'énergie se situe en dessous de 50 Hz. En produisant une série de graphiques pour cette gamme de fréquences, nous pourrions approfondir l'analyse. Ces graphiques sont aux pages 268 à 281 de l'annexe E.

Le contenu en fréquences des signaux 1 et 2 (pression amont et chute) est similaire. On remarque même une baisse du contenu en fréquences après 5 Hz pour les 2 signaux. On peut considérer ce fait comme normal étant donné le lien très étroit entre la chute présentée à la turbine et la pression amont. On remarquera aussi, le contenu en fréquences étant presque nul après 10 Hz, que ces signaux ne sont pas liés au couple, à la vitesse de rotation ou aux autres signaux qui ne sont pas des pressions. La pression aval présente un contenu en fréquences assez constant d'un point à l'autre. Cela peut être dû à la difficulté pour la valve papillon, de réguler la chute aval, ou encore à l'interaction des différentes boucles de régulation. Si on regarde le signal de la pompe, on constate que toutes les fréquences sont excitées. La position du capteur pour cette mesure, comme nous l'avons déjà dit, peut être la cause de cette large bande d'excitation. On remarque néanmoins la présence d'un pic à 20 Hz pour toutes les conditions d'opération, comme nous l'avons déjà remarqué dans la bande 0-250 Hz. On peut donc soupçonner qu'il y ait un phénomène de résonance entre cette fréquence de la pompe et la forte amplitude à cette même fréquence sur l'ensemble des canaux lorsque la turbine tourne à 1200 rpm, soit 20 tours par seconde.

Les signaux du couple et de la vitesse de rotation sont légèrement perturbés entre 0 et 1 Hz. Il s'agit là d'un effet de la régulation. L'effet est un peu plus important à 1000 rpm et peut s'expliquer par la non-linéarité de la courbe de fonctionnement du dynamomètre. Cependant, pour le couple, il est particulièrement intéressant d'observer les fréquences 15, 18 et 22.5 Hz. Elles sont présentes pour les trois points d'opération. Bien qu'à 1200 rpm, la fréquence 20 Hz prenne beaucoup d'énergie, on constate quand même la présence des autres fréquences. On peut donc en déduire que ces trois fréquences sont liées à la structure du banc d'essai et qu'elles se transmettent à la cellule de charge qui mesure le couple. L'observation du signal de la vitesse de rotation nous révèle immédiatement des raies de fréquences à 1, 2 et 3 fois la fréquence de rotation de la turbine, soit 13.33 Hz, 16.67 Hz ou 20.00 Hz selon la série d'essai. On constate aussi que ces raies ne se répercutent pas sur d'autres signaux. On peut par conséquent croire qu'il s'agit d'un léger désalignement du dynamomètre ou d'un débalancement de celui-ci car la turbine, ayant été balancée avant le montage final, n'est probablement pas la cause d'un balourd. Notons aussi que ces fréquences sont trop faibles pour provenir du repliement d'une fréquence inter-aubes ou inter-directrices. On remarque aussi une raie toujours à droite de la fréquence de rotation de la turbine ou d'une de ses harmoniques. Ce phénomène peut s'expliquer par un glissement du champ magnétique du dynamomètre. La distance de cette raie secondaire peut être fonction de la vitesse de rotation et du courant d'excitation du dynamomètre.

Sur les signaux 7 et 8, on remarque aussi la présence d'une raie à 1 fois la vitesse de rotation, mais celle-ci est plus faible. On remarque aussi que pour le canal 8, les perturbations se situent principalement en dessous de 2 Hz. Il s'agit donc d'une fluctuation de l'écoulement à très basse fréquence. L'analyse sur la bande 0-50 Hz pour ces deux canaux nous fournit peu d'informations supplémentaires par rapport à l'analyse sur la bande 0-250 Hz. On peut croire que la pression de référence utilisée sur le canal 7 influence l'allure de notre signal dynamique, car on ne connaît pas l'évolution des fluctuations de pression entre le point où est situé notre référence de pression et le point où l'on mesure la pression totale du tube de Pitot. On peut retenir des observations générales et comparer des ordres de grandeur des fluctuations, mais on doit être très prudent et éviter une analyse trop détaillée du contenu en fréquences de ce signal.

5.4.3 Analyses des fréquences retenues

Ces analyses, tout comme les autres, ont mis en évidence les perturbations des variables mesurées. Elles nous ont de plus permis de caractériser ces perturbations, de tenter de les expliquer. Elles permettront également d'imaginer des correctifs possibles.

Ainsi, on note que les signaux de pression sont concentrés à des fréquences inférieures à 10 Hz, ce qui laisse croire que des tourbillons plus importants seraient encore présents après la cuve amont. Cette hypothèse semble corroborée par les fluctuations plus grandes des angles (signal de P_{g-d} de la sonde de Pitot, canal 8) entre la sortie de la cuve et la section d'essai. On peut suggérer l'ajout de nids d'abeilles dans la cuve, ou l'utilisation de coudes contenant plus d'ailettes directrices pour briser et répartir ces tourbillons et ainsi produire un écoulement plus uniforme. On peut aussi vérifier de nouveau la conception de la cuve afin de s'assurer qu'elle n'introduit pas de turbulence dans l'écoulement. Notons également le phénomène de résonance qui se produit à 20 Hz lorsque le modèle tourne à 1200 rpm, soit 20 Hz. On a remarqué que cette fréquence se détachait des autres dans les signaux de la pompe, pour toutes les vitesses de rotation mesurées de la turbine. Ceci nous permet de soupçonner une résonance du circuit hydraulique, comprenant la turbine, avec la pompe. L'oscillation étant très nette et stable à 20 Hz, on peut envisager de filtrer le signal sans pour autant affecter les moyennes de manière sensible. Néanmoins, ces fluctuations sont bien réelles et viennent perturber le comportement dynamique de la turbine. Les nids d'abeilles et les coudes à ailettes, en modifiant les caractéristiques du circuit hydraulique et en brisant les perturbations, peuvent diminuer sensiblement ce problème, ou à tout le moins le déplacer vers des fréquences plus élevées ou les risques de résonance avec la fréquence de rotation de la turbine sont beaucoup moindres. Cette seconde option, bien que plus complexe, est nettement préférable à une simple filtration du signal.

Les fluctuations du couple sont principalement identifiées à des fréquences précises : 15.0, 18.0, et 22.5 Hz. Elle sont de plus indépendantes de la vitesse de rotation de la turbine. On peut donc penser qu'il s'agit d'une résonance structurelle et qu'elle pourrait être déplacée par une modification de la structure du banc d'essai ou du dynamomètre. On note aussi, à l'exception du cas à 1200 rpm, que ces fluctuations sont pratiquement constantes

et périodiques. On pourrait donc filtrer le signal pour éliminer l'impact de ces fluctuations sur les mesures. Cependant, pour la résonance hydraulique, ces perturbations modifient le comportement dynamique de la turbine. Elles se trouvent de plus dans la gamme très probable de fréquences de rotation des micro-turbines ou des turbines modèles. Il faut donc envisager de rigidifier la section d'essai où sont situés la turbine et le dynamomètre, de manière à déplacer ces fréquences naturelles de la structure vers des niveaux plus élevés.

On constate que la vitesse de rotation de la turbine est perturbée par un désalignement ou un débalancement. Les pointes à 1, 2 et 3 fois la vitesse de rotation de la turbine sont typiques de ce genre de problèmes. On voit aussi un glissement du champ magnétique du dynamomètre. Ce phénomène engendre une pointe à une fréquence qui est décalée par rapport à la vitesse de rotation du rotor. Cet écart est normalement proportionnel au glissement du champ magnétique et par conséquent à la vitesse de rotation de la turbine. Les pointes que l'on observe sur le signal de vitesse de rotation correspondent bien à ce genre de phénomène. Ces perturbations étant très stables ; on peut alors penser à une filtration pour améliorer les résultats à court terme. Cependant, à plus long terme, il faudra corriger les problèmes identifiés. L'alignement et le débalancement peuvent être corrigés relativement aisément. Le phénomène de glissement, pour sa part, est toujours présent sur les génératrices à courant alternatif. Cependant, les amplitudes de ce phénomène sont plus petites que celles générées par le débalancement et le désalignement. De plus, ces fluctuations ne se transmettent pas aux autres signaux. Elles ont par conséquent peu d'influence sur le comportement dynamique de la turbine. L'utilisation d'une génératrice à courant continu n'est donc pas justifiée, à moins que l'on s'intéresse particulièrement à l'analyse du comportement dynamique des turbines. Il faut plutôt envisager d'éliminer ces fluctuations résiduelles par la filtration du signal après avoir établi que le niveau de ces fluctuations est suffisamment bas.

On peut croire qu'une filtration des signaux au dessus de 5 Hz environ réduirait considérablement la fluctuation de ceux-ci autour de leurs moyennes respectives. Toutefois, cette alternative ne corrige pas la difficulté de reproduire un point d'opération avec la précision voulue. La filtration n'éliminera pas non plus la fluctuation de la chute qui se situe principalement à des fréquences inférieures à 5 Hz. Cependant, ces fluctuations étant

nettement plus petites que celles du couple et de la vitesse de rotation, on peut s'attendre à une amélioration notable de la distribution des données suite à une filtration.

5.4.4 Filtration des données

Afin d'évaluer l'effet réel d'une filtration du signal et d'estimer la précision sur la mesure du rendement qu'on aurait après la correction des défauts rencontrés, nous avons effectué une filtration numérique à 6.0 Hz sur les signaux dynamiques de chute, de couple et de vitesse de rotation pour chacune des trois vitesses de rotation du modèle. Nous avons utilisé les données ET200811, ET201012 et ET201221 de la série DYN_01. Nous avons calculé, pour les données filtrées, la moyenne, l'écart-type et l'intervalle de confiance $e_{95\%}$. À la Table XIX, on compare les résultats entre le signal original, les moyennes de sous-échantillons et le signal filtré. La Figure 38 compare visuellement un signal de couple original et le signal filtré.

La filtration à 6 Hz a très peu d'effet sur la dispersion de la chute. Cela était prévisible puisqu'on savait que le contenu en fréquences de la chute se situe principalement en deçà de 5 Hz. Néanmoins, la dispersion des moyennes de sous-échantillons est nettement meilleure. Pour l'essai à 800 rpm par exemple, l'intervalle de confiance $e_{95\%}$ de ces moyennes est de 0.20%, comparativement à 0.43% et 0.42% pour le signal original et le signal filtré. Les moyennes de sous-échantillons sont calculées sur une seconde ; cette moyenne correspond grossièrement à une filtration du signal au-dessus de 1 Hz. Le contenu en fréquences du signal de la chute se situe principalement entre 0 et 5 Hz ; il est donc normal que la moyenne sur une seconde réduise sensiblement la dispersion des données. On constate la même chose pour les deux autres points d'opération.

La filtration apporte une réduction significative de l'erreur sur le couple C . Pour une vitesse de rotation du modèle de 800 rpm, l'intervalle de confiance passe de 5.59% à 0.41% entre le signal original et le signal filtré. Ici, la dispersion des moyennes de sous-échantillons est équivalente avec un intervalle de confiance de 0.40%. Nous avons vu lors de l'analyse en fréquences des signaux dynamiques que le contenu en fréquences du signal de couple est au dessus de 5 Hz ; on s'attendait alors à ne constater que peu de différence entre la filtration à 6 Hz et les moyennes sur une seconde. Le phénomène est similaire pour

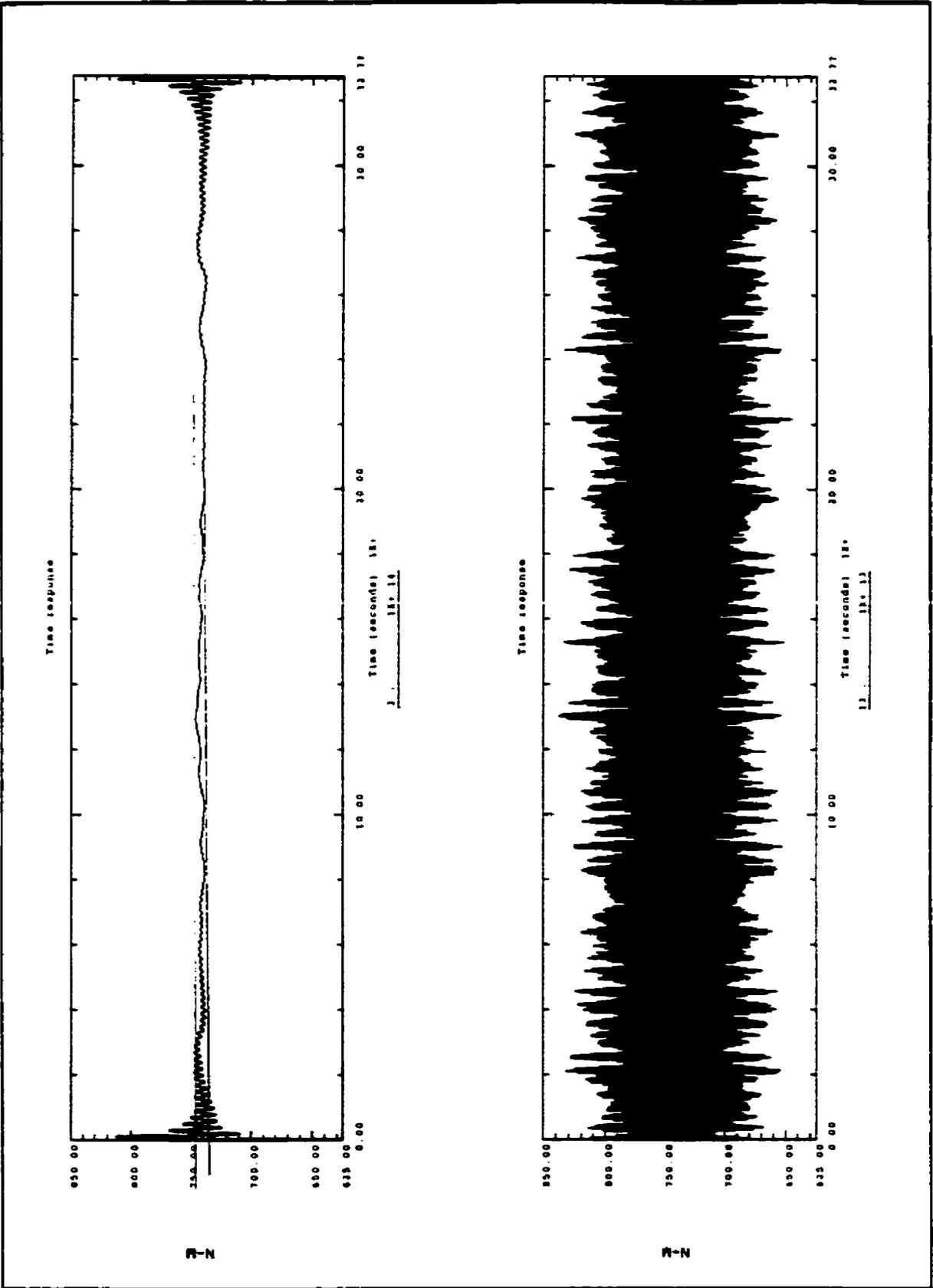


Figure 38 Effet d'une filtration à 6.0 Hz sur le signal de couple

les deux autres vitesses de rotation du modèle avec une pointe marquée à 1200 rpm, où l'intervalle de confiance du signal original passe de 10.99% à 0.51% une fois filtré. Rappelons que cette pointe dans la dispersion des données est due à un phénomène de résonance à 20 Hz (1200 rpm).

Table XX Effet de la filtration du signal sur la dispersion des données

	ET200811			ET201012			ET201221		
H	Plage (m)	Moy. (m)	$e_{95\%}$ (%)	Plage (m)	Moy. (m)	$e_{95\%}$ (%)	Plage (m)	Moy. (m)	$e_{95\%}$ (%)
S-éch	0.079	20.570	0.20	0.067	20.824	0.16	0.085	20.644	0.19
Orig.	0.359	20.570	0.43	0.467	20.825	0.58	0.367	20.644	0.47
Filtré	0.306	20.570	0.42	0.439	20.825	0.57	0.329	20.644	0.46
C	Plage (Nm)	Moy. (Nm)	$e_{95\%}$ (%)	Plage (Nm)	Moy. (Nm)	$e_{95\%}$ (%)	Plage (Nm)	Moy. (Nm)	$e_{95\%}$ (%)
S-éch	6.330	911.03	0.40	6.632	839.40	0.41	5.576	741.20	0.49
Orig.	229.10	911.03	5.59	121.20	839.40	3.22	192.40	741.20	10.99
Filtré	9.700	911.03	0.41	10.300	839.41	0.48	8.800	741.18	0.51
N	Plage (rpm)	Moy. (rpm)	$e_{95\%}$ (%)	Plage (rpm)	Moy. (rpm)	$e_{95\%}$ (%)	Plage (rpm)	Moy. (rpm)	$e_{95\%}$ (%)
S-éch	3.164	847.65	.019	4.115	1059.6	0.21	3.204	1272.1	0.13
Orig.	64.697	847.65	2.85	68.300	1059.6	2.32	105.00	1272.1	2.95
Filtré	7.044	847.65	0.27	6.900	1059.6	0.25	5.700	1272.1	0.16

Les résultats de la filtration sur le signal de vitesse sont similaires à ceux du couple. Cependant, la dispersion de ce signal est moins prononcée, même à 20 Hz avec la résonance. Les résultats sont par conséquent moins impressionnants, bien que tout de même significatifs. À titre d'exemple, pour 800 rpm, l'intervalle de confiance passe de

2.85% à 0.27% entre le signal original et filtré, alors que les moyennes de sous-échantillons ont un intervalle de confiance de 0.19%.

En posant l'intervalle de confiance sur le débit à 0.19% dans tous les cas, on peut calculer l'erreur sur le rendement. La Table XXI présente l'intervalle de confiance $e_{95\%}$ sur le rendement pour les signaux dynamiques originaux et filtrés en plus des valeurs des moyennes de sous-échantillons. On constate une amélioration significative pour les signaux

Table XXI Comparaison des intervalles $e_{95\%}$ sur le rendement des signaux filtrés

	S-éch	Org.	Filtré
ET200811	0.521	6.294	0.672
ET201012	0.526	4.021	0.807
ET201221	0.576	11.385	0.727

filtrés et les moyennes de sous-échantillons. Les valeurs pour ces deux derniers cas sont de l'ordre de 0.5% à 0.8%. Ces chiffres sont beaucoup plus près des valeurs que nous avons prévues après l'étalonnage et de la précision de 0.6% requise par la norme AFNOR[3].

5.4.5 Pertinence de la filtration des données lors d'essais

On peut se demander si la filtration et les moyennes sont acceptables dans la pratique pour l'étude expérimentale des turbines modèles. À ce titre, nous comparerons les modes d'échantillonnage de l'IMHEF à Lausanne[4], de GE Hydro à Montréal[7] et de Hydro Vevey à Vevey[6].

L'IMHEF utilise des convertisseurs tension-fréquence et des compteurs numériques pour l'enregistrement des variables. Le comptage des pulsations est réglable entre 1 et 9999 secondes. Le temps de comptage est ajusté de manière à obtenir des moyennes suffisamment précises. Les valeurs obtenues sont donc le résultat d'une intégration sur l'intervalle de temps choisi, et de ce fait une moyenne.

Chez GE Hydro, on effectue de 25 à 50 acquisitions à basse vitesse, desquelles on tirera une moyenne. Le nombre d'acquisitions est ajusté de manière à obtenir la précision voulue.

Hydro Vevey utilise aussi un convertisseur tension-fréquence. On procède ensuite à une intégration continue des variables en calculant des valeurs intermédiaires à un intervalle de temps de 0.5s. Le temps d'intégration est optimisé en vérifiant que les deux derniers résultats intermédiaires soient à l'intérieur de la précision voulue.

On constate que ces trois laboratoires procèdent à une intégration de signal ou à une moyenne. On peut donc être à l'aise avec une filtration ou une moyenne des signaux.

On constate donc que la filtration et les moyennes des signaux améliorent la dispersion des résultats. De plus, pour une fréquence de coupure et un intervalle de temps correspondant, la filtration et les moyennes donneront des résultats similaires. Ces techniques de traitement des signaux sont acceptables pour autant que les signaux soient stables autour d'une valeur moyenne. L'intégration et les moyennes continues permettent de plus de vérifier la précision des résultats et d'optimiser le temps de mesure.

Il est important de connaître les causes des fluctuations des signaux de manière à éliminer ou réduire les fluctuations qui sont liées au banc d'essai.

5.4.6 Résumé des analyses en fréquences

Les analyses dynamiques que nous avons effectuées révèlent que le contenu en fréquences des signaux est principalement inférieur à 50 Hz.

L'observation des signaux de pression a permis de constater l'indépendance des pressions par rapport au couple et à la vitesse de rotation de la turbine. On constate aussi que la partie importante des fluctuations se situe en deçà de 10 Hz. Ce fait nous laisse croire que des fluctuations à basses fréquences sont toujours présentes à la sortie de la cuve de stabilisation. Ces fluctuations pourraient être réduites par l'ajout de nids d'abeilles dans la cuve ou d'ailettes directrices dans les coudes de la boucle.

On a constaté, sur les signaux du couple, que trois fréquences étaient présentes à tous les points d'opération. On soupçonne donc une résonance structurale de la boucle d'essai à 15, 18 et 22.5 Hz. Ces fluctuations pourraient être éliminées au moyen de la filtration du

signal au-dessus de 10 Hz par exemple. Cependant ces fréquences sont trop près des vitesses de rotation habituelles des turbines modèles, il serait alors préférable de déplacer ces résonnances vers des fréquences plus élevées.

Les signaux de vitesse de rotation présentent des amplitudes distinctes aux harmoniques une, deux et trois de la vitesse de rotation du modèle. Un désalignement ou un déséquilibre est probablement à l'origine de ces fluctuations et peut être aisément corrigé. La présence d'une fréquence marquée à la droite de chaque harmonique de la vitesse de rotation indique un glissement du champ magnétique du dynamomètre. Ce phénomène, normal pour les équipements à courant alternatif, est moins important en amplitude et peu être négligé.

On note sur les signaux de couple et de vitesse de rotation une zone de fluctuation entre 0 et 1 Hz que l'on peut attribuer aux boucles de régulation de vitesse et de chute. On note aussi une amplitude importante à 20 Hz sur la plupart des signaux lors que la turbine tourne à 1200 rpm. On en déduit qu'il existe une résonance entre la pompe et la boucle d'essai à cette vitesse précise. Cette résonance devra être éliminée ou déplacée vers des fréquences plus élevées, même si une filtration du signal peut résoudre le problème temporairement.

La filtration des signaux à 6 Hz a considérablement réduit la dispersion des données du couple et de la vitesse de rotation. Cependant, l'effet sur la chute a été beaucoup moindre, car la partie la plus importante des fluctuations de la chute se situe en deçà de 5 Hz. Néanmoins, la dispersion des résultats du calcul de rendement passe alors d'environ 4 à 11 % pour le signal original à environ 0.6 à 0.8 % pour le signal filtré. Notons aussi que des moyennes effectuées sur des échantillons d'une seconde ont un effet similaire. La dispersion du rendement est alors entre 0.5 et 0.6 %.

La comparaison avec les méthodes de mesures des autres laboratoires oeuvrant dans le même domaine indique que l'intégration du signal, le calcul de moyennes et la filtration sont des techniques acceptables permettant de réduire la dispersion des données et ainsi augmenter la précision des résultats. Néanmoins, l'analyse des signaux dynamiques a mis en évidence les causes probables des fluctuations notées sur les signaux. Bien que la

filtration puisse résoudre le problème de la dispersion des résultats, il est important d'éliminer la cause de ces fluctuations afin de s'assurer qu'elles n'ont pas d'effets sur nos mesures.

CHAPITRE 6

Conclusion

Cette section résume l'ensemble du travail. On y rappelle d'abord les objectifs initiaux du travail. On présente ensuite les points saillants découlant des mesures et des analyses effectuées. Finalement, nous soulignons les développements que l'on considère intéressants pour l'avenir du projet de banc d'essai de micro-turbines de l'université Laval.

6.1 Rappel des objectifs

Le banc d'essai de micro-turbines de l'université Laval a été mis au point afin d'effectuer les essais de rendement d'une turbine qui a été développée à l'université. Dans ce contexte, nous avons procédé à l'étalonnage du banc d'essai. Nous devons donc :

- Établir la précision du banc d'essai et des instruments le composant ;
- Vérifier la qualité de l'écoulement à l'intérieur de la veine d'essai ;
- Confirmer la zone de fonctionnement théorique du banc que nous avons établie ;
- Analyser et compiler l'information découlant de ces travaux.

6.2 Points saillants des analyses

L'étalonnage des instruments, comme nous l'avons vu au chapitre 2 (équation 26), est conforme avec les prévisions. La précision globale attendue sur le rendement est d'environ 0.3%. La dispersion des valeurs calculées pour plusieurs points lors des essais de rendement confirme l'ordre de grandeur de précision sur le rendement comme on le constate dans la table des écarts-types exprimés en % à la page 232 de l'annexe C. L'erreur de répétabilité est quelquefois plus grande. Aux pages 254 et 255 de l'annexe D, on note des écarts-types qui vont jusqu'à 6%.

Nous avons vu à la section 5.1.2 que les essais ont mis en évidence une difficulté du système à reproduire un même point d'opération à l'intérieur de 1%. Ce fait rend pratiquement impossible l'utilisation de plusieurs mesures du même point d'opération dans le calcul d'un rendement moyen, si l'on désire obtenir une précision de 0.6%.

La précision des instruments est suffisante pour l'atteinte de cet objectif.

$$\begin{aligned} \epsilon_w &\approx 0.0036\% & \epsilon_C &\approx 0.06\% & \epsilon_{p1-2} &\approx 0.23\% & \epsilon_Q &\approx 0.19\% \\ \epsilon_\eta &= \sqrt{0,0036^2 + 0,06^2 + 0,23^2 + 0,19^2} & \approx 0,30\% & & & & & (38) \end{aligned}$$

La précision, selon le mode d'échantillonnage actuel, est d'environ 1%. Cette valeur plutôt grande est principalement due à la répétabilité des points d'opération. Les analyses de stabilité dynamique ont montré qu'avec une technique de moyennes, on pouvait atteindre une moyenne stable avec environ 0.6% de précision. On doit donc faire une mesure unique sur un intervalle de temps suffisant pour obtenir des valeurs moyennes précises. Les techniques utilisées par d'autres laboratoires, que nous avons décrites à la section 5.4.5, peuvent servir de guide.

On a aussi mis en évidence, tout au long du chapitre 5, qu'un mode d'échantillonnage différent nous permettrait d'obtenir des résultats plus stables tout en restant en accord avec les pratiques reconnues dans d'autres laboratoires du même genre à travers le monde. Le mode d'échantillonnage que nous avons choisi a fait ressortir une dispersion importante des résultats et une distribution qui ne suit pas une loi normale. Il nous a néanmoins permis de voir les phénomènes dynamiques qui affectent les signaux, de mieux comprendre la boucle d'essai et d'identifier les problèmes de fluctuation des signaux.

Les mesures des profils de vitesse et les mesures dynamiques ont mis en évidence les fluctuations des variables. L'analyse dynamique des différents signaux nous a permis d'identifier les causes possibles des fluctuations importantes de certaines variables. Ainsi, on note une résonance structurelle à 15, 18 et 22.5 Hz dans le signal du couple pour les trois vitesses de rotation du modèle, un problème d'alignement identifié par des raies à 1N, 2N et 3N sur le signal de vitesse, et la présence possible de turbulences à basses fréquences sur les signaux de pression. Ces dernières se situent de 0 à 10 Hz avec une amplitude qui varie d'un endroit à l'autre de la boucle d'essai.

La zone de fonctionnement du banc d'essai que nous avons couvert correspond relativement bien à la zone théorique que nous avons calculée, tel que le montre la Figure 37 à la section 5.2. On constate aussi dans cette section quelles sont les limites imposées par la pompe et le dynamomètre.

6.3 Résumé et développements à venir

La précision actuelle des instruments du système d'acquisition est suffisante pour rencontrer l'objectif de 0.6% sur le rendement, bien que la répétabilité des points d'opération ne permettent pas une précision meilleure que 1%. Cependant, des changements au mode d'échantillonnage et à la procédure d'expérimentation permettront rapidement d'obtenir des résultats à la hauteur de la précision des instruments utilisés, soit environ 0.3%.

Les mesures effectuées montrent que l'écoulement subit des fluctuations importantes. Des améliorations à la structure du banc et à la cuve de stabilisation permettront d'obtenir des conditions d'opération beaucoup plus stables. Ces nouvelles conditions permettront un ajustement plus facile du système de protection et de contrôle de la boucle d'essai ainsi qu'une plus grande facilité à reproduire un point d'opération.

La zone de fonctionnement du banc d'essai est conforme aux attentes. Les limites imposées par la pompe et le dynamomètre sont satisfaisantes, mais pourront être améliorées au besoin en remplaçant ces éléments.

Ce mémoire rassemble également toute l'information que nous avons recueillie au long du démarrage du banc d'essai. Il se veut un outil de référence pour ceux et celles qui poursuivront le développement du banc d'essai et qui l'utiliseront. On retrouve ainsi au chapitre 2 une description sommaire du banc d'essai. Les fiches techniques de l'instrumentation figurent à l'annexe A. L'étalonnage des instruments et le calcul d'erreur sont vus au chapitre 3. Le chapitre 4 présente le mode de fonctionnement de la boucle et le mode d'échantillonnage des différents essais. On trouvera les analyses des résultats au chapitre 5.

Tous ces points s'inscrivent dans un processus normal de conception et d'amélioration d'un équipement expérimental complexe. Nous avons donc franchi une première étape qui a permis d'augmenter nos connaissances dans un champ d'expérimentation nouveau à l'université Laval et unique en milieu universitaire au Canada. Nous devons mettre à profit les difficultés rencontrées et les réussites accomplies dans un processus d'amélioration

continue des méthodes de travail, afin d'atteindre et de dépasser l'objectif : doter le Canada d'un premier banc d'essai de micro-turbines et de turbines modèles en milieu universitaire.

Bibliographie

- 1- Commission Électrotechnique Internationale, 1965. Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques. Publication 193.
- 2- Commission Électrotechnique Internationale, 1972. Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques. Publication 193A, Premier complément à la publication 193 (1965).
- 3- AFNOR (Association Française de Normalisation), Octobre 1991. Turbines hydrauliques de petite puissance, Essais sur plate-forme. Norme NF E 44-501.
- 4- Bovet Th. et Henry P., 1970. Le nouveau stand d'essai universel pour machines hydrauliques à réaction. Publication #6, Institut de Machine Hydraulique. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
- 5- Centre de Recherche et d'Essais de Machines Hydrauliques de Grenoble, Janvier 1989. La Plate-forme d'Essais de Turbomachines, (Version Provisoire). CREM-HyG, Grenoble, France.
- 6- Chenal R., 1981. Laboratoire d'hydraulique, Nouveau stand d'essai universel pour modèles réduits de turbomachines hydrauliques. Vevey Engineering Works Itée, Vevey, Suisse.
- 7- Désy N., Septembre 1987. Hydraulic Laboratory, Test Facilities. Dominion Engineering Works, Lachine, Canada.
- 8- Neyrpic. Characteristics of main Neyrpic hydraulic test rig and associated turbine models. GEC Alsthom, France.
- 9- Association de Développement des Énergies Renouvelables. Projet de Laboratoire de Mini-Hydraulique de Moncherand. ADER

- 10- Olivier C., Voigt R.L.Jr., Ramanathan V., Gulliver J.S., Arndt R.E.A., Juillet 1989. The St. Anthony Falls Independent Turbine Test Facility. Université du Minnesota, Minneapolis, Minnesota.
- 11- C.C. Warnick, H.A. Mayo, J.L. Carson, L.H. Sheldon, 1984. Hydro-Power Engineering. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, E-U.
- 12- A.T. Sayers, 1990. Hydraulic and Compresssible Turbomachines. McGraw-Hill, Maidenhead, Berkshire, England.
- 13- J.-F. Caron, Octobre 1994. Étalonnage d'un banc d'essai de turbines hydrauliques, rapport de stage. Université Laval, Ste-Foy, Québec, Canada
- 14- A. St-Hilaire, Août 1995. Mesure des caractéristiques locales de l'écoulement dans la veine d'essai d'une turbine hydraulique. Université Laval, Ste-Foy, Québec, Canada
- 15- J.S. Bendat, A.G. Piersol, 1986. Random data. Wiley, New York, New York, E-U
- 16- Figliola, R.S., Beasley, D.E., 1991. Theory and Design for Mechanical Measurements. Wiley, New York, New York, E-U.
- 17- Dally, J.W., Riley, W.F., McConnell K.G., 1993. Instrumentation for Engineering Measurements. 2th ed, Wiley, New York, New York, E-U.
- 18- Benedict, R.P., 1984. Fundamentals of Temperature. Pressure an Flow Measurements. 3rd ed, Wiley, New York, New York, E-U.
- 19- Deschênes, C., Tung, T.T.P., Secretan, Y., 1994. A new Canadian Test Stand for the Measurements of Micro-Turbines Characteristics. Modelling, Testing and Monitoring for Hydro power Plants, Hydropower and Dams Conference, Budapest, Hungary.

- 20- Paquet, F., 1994. Étalonnages statiques et dynamiques de sondes anémométriques combinant fils chauds et fils froids. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Ste-Foy, Québec, Canada.
- 21- Franc, J.P. et *al.*, 1990. La Cavitation. Collection Grenoble Sciences, Grenoble, France.
- 22- E. O. Doebelin, 1990 Measurements systems, application and design. 4^e éd., McGraw-Hill, Maidenhead, Berkshire, England.
- 23- Lemay, J., Septembre 1993. Acquisition, traitement de données. Note de cours, GMC-64506, Université Laval, Ste-Foy, Québec, Canada.

ANNEXE A

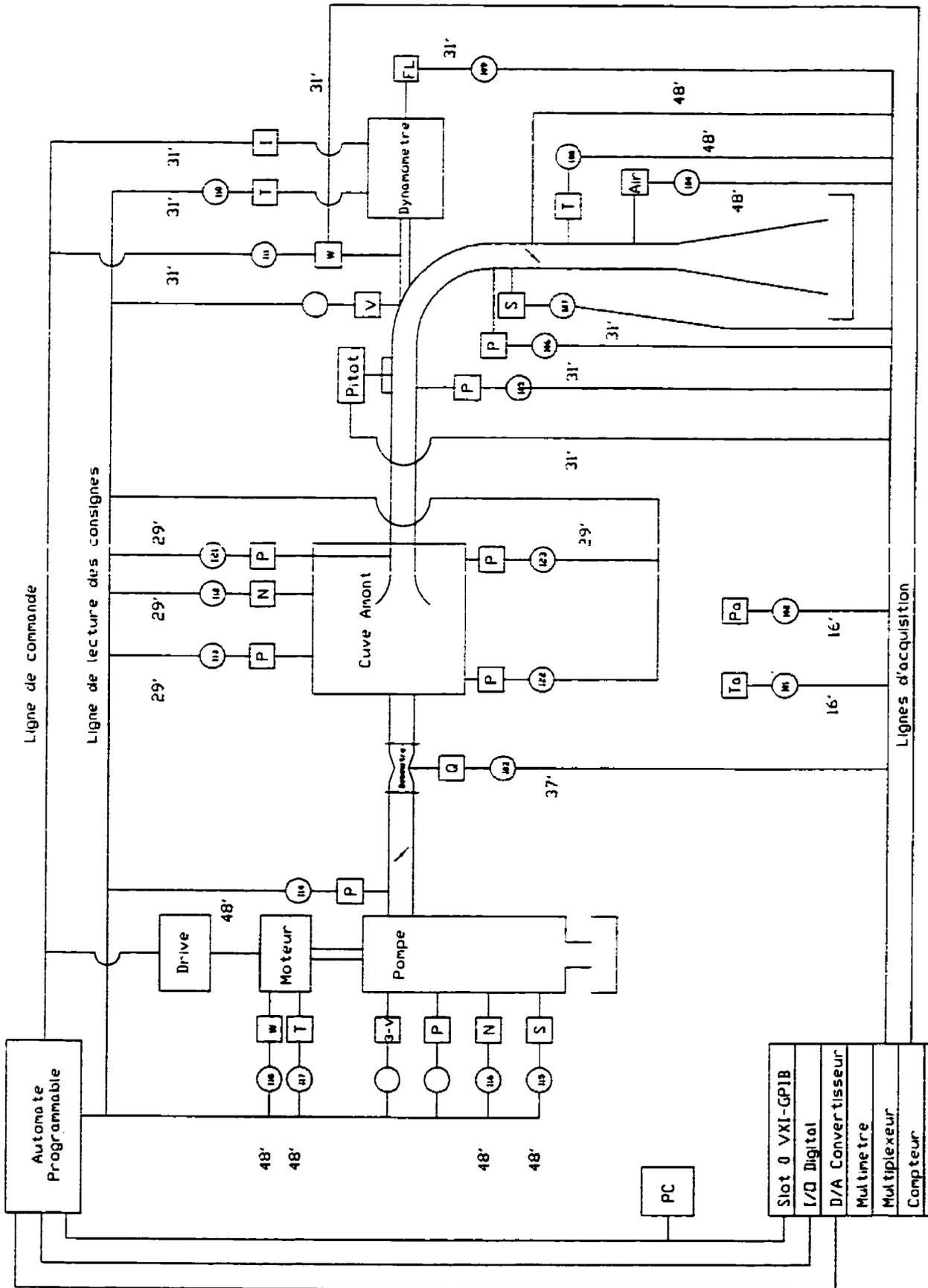
Instrumentation : Informations techniques

Liste de l'instrumentation installée sur le banc d'essai de micro-turbine.

<u>Instruments</u>	<u>Statut</u>
I01- Température Ambiante : RTD-805 Oméga Alimentation: nulle Sortie: 100 Ohms à 0 °C Transformation: Exactitude: .1 °C Raccord: Protecteur ouvert de % Connexion: 3 fils; VXI	Reçu et Calibré
I02- Pression Ambiante: PX811-020AV Oméga Alimentation: 10V DC Sortie: 100 mV DC Transformation: Exactitude: 0.2% FS 0-20 psia Raccord: $\frac{1}{4}$ -18 NPT Connexion: 6 fils, 5 utilisés; VXI	Reçu et Calibré
I03- Débitmètre: MAGMASTER 400mm ABB Alimentation: 85-265V AC 11-40V DC Sortie: 0-20 mA ou RS-232 Transformation: résistance de précision. Exactitude: 0.2% de la lecture. Connexion: 2 fils ou RS-232; VXI	Reçu
I04- Teneur en Air: Rosemount 1054-D0-02,499D0-01 Alimentation: 115 V AC Sortie: 4-20 mA Transformation: Résistance de précision. Exactitude: 1% FS 0-20 ppm Raccord: 1in NPT. Ne pas installer en haut Connexion: Remarque: Non-urgent pour l'instant	Reçu
I05- Pression Amont: Unis à I06 pour ΔH Rosemount 1151DP6 Alimentation: 12-45 V DC Sortie: 4-20 mA Transformation: Résistance précision Exactitude: 0.2% FS Δp 0-100 psid Connexion:	Reçu Calibration à faire
I06- Pression Aval:	à Venir
I07- Bruit de Cavitation: Hydrophone B&K 8103 Alimentation: N/A Sortie: Tension AC à vérifier Transformation: Exactitude: Raccord: à définir d'après la sonde. Connexion: Non-urgent; Automate et VXI(Hs)	Existant

- I08- Température de l'eau: Oméga PR-14-3-100- $\frac{1}{4}$ -6-E à Recevoir
 Alimentation: N/A
 Sortie: 100 Ohms à 0 °C
 Transformation:
 Exactitude: .1 °C
 Prise de Sonde: $\frac{1}{2}$ NPT
 Connexion: 4 fils; VXI
- I09- Couple moteur: Cellule Aries DBB-U-200KG. Reçu
 Alimentation: 12-30V DC Calibration à
 Sortie: 3mV/V refaire avant
 Transformation: les essais.
 Exactitude: .5% Sortie
 Raccord:
 Connexion: 4 fils. Utilisation ampli?; VXI
- I10- Eau de Refroidissement: Thermocouple J Existant
 Alimentation: Jonction froide, pile ou 110
 Sortie: 0-5 mV DC
 Transformation: Jonction Froide 0-5V DC
 Exactitude:
 Connexion: 2 fils X2; Automate
- I11- Vitesse Angulaire: Encodeur 06301141-2048 ppr Reçu
 Alimentation: 12-30V DC
 Sortie: 0-5 V AC
 Transformation:
 Exactitude: 1 pulse.
 Raccord: Support complété.
 Connexion: 6 fils; VXI et Automate
- I12- Présence Eau Réservoir Amont: Capt. Résistif à Définir
 Alimentation:
 Sortie:
 Transformation:
 Exactitude:
 Raccord: Relier au reniflard
 Connexion: Automate
- I13- Pression Réservoir Amont: Oméga PX180-100GV Reçu et
 Alimentation: 10 V DC Calibré
 Sortie: 0-100 mV DC
 Transformation:
 Exactitude: 0.3% FS 0-100 psig
 Raccord: $\frac{1}{4}$ -27 NPT acier inox
 Connexion: 4 fils; Automate
- I14- Pression Sortie Pompe: Oméga PX180-100GV Reçu et
 Alimentation: 10 V DC Calibré
 Sortie: 0-100 mV DC
 Transformation:
 Exactitude: 0.3% FS 0-100 psig
 Raccord: $\frac{1}{4}$ -27 NPT acier inox
 Connexion: 4 fils; Automate

- I21- Pression Prise d'Eau: Oméga PX180-100GV Reçu
 Alimentation: 10 V DC
 Sortie: 0-100 mV DC
 Transformation:
 Exactitude: 0.3% FS 0-100 psig
 Raccord: 1/2-27 NPT acier inox
- I22- Pression Entrée Cuve Amont:
- I23- Pression Sortie Cuve Amont: E & H PMC 133 Reçu
 Alimentation: 12-30 V DC
 Sortie: 4-20 mA
 Transformation: Résistance précision
 Exactitude: 0.2% FS 0-100 psig
 Raccord: 1/2 in NPT
 Connexion: 4 fils; Automate
- Calibration des pressions:
- Balance DH Tête 410 Reçu
 Alimentation:
 Sortie: Digital RS 232 ou GPIB
 Transformation:
 Exactitude: 0.002% FS 0-120 psig
 Raccord: NPT
- Balance DH Tête 710 Reçu
 Alimentation:
 Sortie: Digital RS 232 ou GPIB
 Transformation:
 Exactitude: 0.002% FS -14.5 à 70 psig
 Raccord: NPT



Pi Pression
 O. Débit
 T: Temperature
 Ni Niveau d'eau



- **Functions:**
Vac, Vdc (ac & dc coupled),
2 & 4-wire Ω , Offset compensated Ω , Frequency, Period,
Thermistor, RTD
- Long integration times and guarding provide excellent noise rejection
- Up to 1.5 million readings with external shared RAM
- Built-in timer with programmable trigger delay
- Software calibration

✓	ITG/VEE Drivers
✓	SCPI Compatible
	Compiled SCPI
✓	3-Year Warranty

C-size, 1-slot, Message-based

6

The DMM offers DC voltage and resistance measurements at rates over 1450 rdgs/sec in the 3^{1/2}-digit mode, or normal mode rejection of up to 90 dB in the 6^{1/2}-digit mode. Measure true RMS AC signals from 20 Hz to 1 MHz with programmable settling times. Or take advantage of offset compensated Ohms to eliminate the effect of small series voltage offsets for critical resistance measurements such as relay contact measurements.

Choose the resolution, accuracy, and noise rejection you need. Fast function range changes allow you to optimize measurement speeds. For low level signals, long integration times and the system guard yield the most accurate measurements possible. Integration times from 100 power line cycles to 0.0005 power line cycles are selectable for all functions. Resolution from 6^{1/2} to 3^{1/2} digits is selectable as a function of integration time.

The DMM has extensive triggering capabilities including synchronization with external devices. You can access the external trigger and voltmeter complete signals from the front panel or VXIbus (TTL trigger lines).

General Specifications

Reading Rate Conditions: Auto zero off, fixed range, delay 0, AC slow filter on, and offset compensation
Noise Rejection Conditions: 1 K Ω imbalance in low lead. NMR is for specified frequencies $\pm 0.05\%$.

	Aperture								
	2.0s	1.57s	200ms	147ms	20ms	14.7ms	2.0ms	1.57ms	100 μ s
Typical Reading Rates (readings/second)									
DC Voltage	0.4	0.49	4.0	4.9	47	56	312	360	1250
Four-wire resistance	0.4	0.49	4.0	4.9	47	56	312	360	1250
AC Voltage	0.17	0.2	0.85	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Resolution (bits/digits)									
Binary bits	± 21.5	± 18.2	± 18.2	± 14.9					
Decimal digits	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	5.5	5.5	4.5
Noise Rejection (dB)									
DC Voltage & Resistance	← 140dB →								
DC Common mode rejection									
50Hz Power line cycles	100	--	10	--	1	--	--	--	--
Normal mode (50Hz) rejection	90dB	0dB	80dB	0dB	60dB	0dB	0dB	0dB	0dB
60Hz Power line cycles	--	100	--	10	--	1	--	--	--
Normal mode (60Hz) rejection	0dB	90dB	0dB	80dB	0dB	60dB	0dB	0dB	0dB
400Hz Power line cycles	800	--	80	--	8	--	--	--	--
Normal mode (400Hz) rejection	90dB	0dB	80dB	0dB	60dB	0dB	0dB	0dB	0dB
AC Voltage									
DC to 60 Hz Common mode rejection	← >86dB →								

DC Voltage

Accuracy Conditions: Auto-zero on. One hour warmup.
Temperature within $\pm 5^\circ\text{C}$ of temperature at calibration (module calibrated at 18 - 28 $^\circ\text{C}$).

Range	Input Resistance	Resolution vs Aperture (Volts)		99-Day Accuracy vs Aperture (\pm % of Reading + Volts)	
		20/16.7msec	10msec	20/16.7msec	10msec
30 mV	>10 G Ω	10 nV	10 μ V	0.0040% + 3.9 μ V	0.0040% + 60
300 mV	>10 G Ω	100 nV	100 μ V	0.0025% + 4.0 μ V	0.0025% + 40
3 V	>10 G Ω	1 μ V	1 mV	0.0017% + 9.0 μ V	0.0017% + 4.0
30 V	10 M Ω $\pm 1\%$	10 μ V	10 mV	0.0035% + 200 μ V	0.0035% + 40
300 V	10 M Ω $\pm 1\%$	100 μ V	100 mV	0.0063% + 700 μ V	0.0050% + 400

Four-Wire Resistance

Accuracy conditions: Auto-zero on, one hour warmup. On 300 M Ω and 3 G Ω ranges, specification applies to two-wire Ω only, with inputs >10% of full scale, and within 24 hrs of internal calibration. Temperature within $\pm 5^\circ\text{C}$ of temperature at calibration (module calibrated at 18 - 28 $^\circ\text{C}$).

Range	Source Current	Maximum Open Circuit Voltage	Resolution vs Aperture (Ω)		30-Day Accuracy vs Aperture \pm (% of Reading + Ω)	
			28/16.7 msec	18 μsec	28/16.7 msec	18 μsec
30 Ω	1 mA	12 V	10 $\mu\Omega$	10 m Ω	0.0065% + 4.5 m Ω	0.0065% + 80 m Ω
300 Ω	1 mA	12 V	100 $\mu\Omega$	100 m Ω	0.0045% + 4.5 m Ω	0.0045% + 400 m Ω
3 k Ω	1 mA	12 V	1 m Ω	1 Ω	0.0035% + 7 m Ω	0.0035% + 4 Ω
30 k Ω	100 μA	12 V	10 m Ω	10 Ω	0.0035% + 70 m Ω	0.0035% + 40 Ω
300 k Ω	10 μA	12 V	100 m Ω	100 Ω	0.0040% + 900 m Ω	0.0040% + 400 Ω
3 M Ω	1 μA	12 V	1 Ω	1 k Ω	0.0055% + 16 Ω	0.0055% + 5 k Ω
30 M Ω	100 nA	8.5 V	10 Ω	10 k Ω	0.0250% + 930 Ω	0.0250% + 50 k Ω
300 M Ω	100 nA	8.5 V	100 Ω	100 k Ω	1.6% + 100 k Ω	NS
3 G Ω	100 nA	8.5 V	1 k Ω	1 M Ω	16% + 1 M Ω	NS

NS: Not Specified

True RMS ac Voltage (ac coupled)

Crest Factor: 3.5 at full scale

Accuracy Conditions: Sine wave inputs >10% of full scale. DC component <10% of AC component. AC slow filter on. Auto-zero on. One hour warmup. Temperature within $\pm 5^\circ\text{C}$ of temperature at calibration (module calibrated at 18 - 28 $^\circ\text{C}$).

Range (RMS)	Input Impedance	Resolution Aperture = 28/16.7 msec	Frequency	30-Day Accuracy
				\pm (% of Reading + Volts) Aperture = 28/16.7 msec
30 mV	1 M Ω \pm 1%, < 90 pF	10 nV	20 Hz-45 Hz	0.50% + 37.3 μV
			45-100 Hz	0.23% + 37.3 μV
			100 Hz-20 kHz	0.15% + 37.3 μV
			20-100 kHz	0.68% + 47.1 μV
			100-300 kHz	3.35% + 123 μV
			300 kHz-1 MHz	10.35% + 691 μV
300 mV	1 M Ω \pm 1%, < 90 pF	100 nV	20-45 Hz	0.58% + 133 μV
			45-100 Hz	0.23% + 133 μV
			100 Hz-20 kHz	0.15% + 133 μV
			20-100 kHz	0.68% + 231 μV
			100-300 kHz	3.35% + 991 μV
			300 kHz-1 MHz	10.35% + 667 mV
3 V	1 M Ω \pm 1%, < 90 pF	1 μV	20-45 Hz	0.58% + 1.33 mV
			45-100 Hz	0.23% + 1.33 mV
			100 Hz-20 kHz	0.15% + 1.33 mV
			20-100 kHz	0.68% + 2.31 mV
			100-300 kHz	3.35% + 9.91 mV
			300 kHz-1 MHz	10.35% + 66.7 mV
30 V	1 M Ω \pm 1%, < 90 pF	10 μV	20-45 Hz	0.58% + 13.3 mV
			45-100 Hz	0.23% + 13.3 mV
			100 Hz-20 kHz	0.15% + 13.3 mV
			20-100 kHz	0.68% + 23.1 mV
			100-300 kHz	3.35% + 99.1 mV
			300 kHz-1 MHz	10.35% + 667 mV
300 V	1 M Ω \pm 1%, < 90 pF	100 μV	20-45 Hz	0.64% + 133 mV
			45-100 Hz	0.29% + 133 mV
			100 Hz-20 kHz	0.21% + 133 mV
			20-100 kHz	1.08% + 390 mV
			100-1 MHz	NS

NS: Not Specified

Frequency and Period

Sensitivity (sinewave): 10mV_{rms}

Trigger Level: Triggers and counts on zero crossings

Conditions: 0-55 $^\circ\text{C}$.

Frequency Range	Period Range	1-Yr. Accuracy \pm (% of Reading)
10-400 Hz	0.1-0.025 sec	0.05%
400 Hz-1.5 MHz	0.025sec-667 nsec	0.01%

Timer/Pacer

Timer Range: 600 μsec to 2100 sec

Resolution: 1.0 μsec

Programmable Delay

Delay Range: 0 to 2100 sec

Resolution: 1.0 μsec

External Trigger

Trigger Condition (programmable): negative or positive edge

Minimum Pulse Width: 10 nsec

Memory

Reading Storage: 4096 readings

Multimeter State Memory: 10 states

Power Requirements

See Module Power and Cooling Information Table in Section 14.

Ordering Information

6 $\frac{1}{2}$ -Digit Multimeter	HP E1410A
MIL-STD-45642A	
Calibration Certification	Opt 18N
HP E1410A 6 $\frac{1}{2}$ -Digit Multimeter	
Assembly Service Manual	Opt 083
Component Information	
Packet	E1410-90033

Measurement Functions

This section describes the measurement functions (AC voltage, 2-wire ohms, frequency, etc.) and shows the ranges and resolution available for each. You can use the CONFigure, MEASure, and SENSE commands to select the measurement function. This section gives the complete command syntax statements for each function. Refer to Chapter 5 "Multimeter Command Reference" for detailed information on each command.

Voltage Measurements

The multimeter can make DC voltage, AC voltage, and AC + DC voltage measurements. Table 4-2 shows the voltage ranges and the resolution available for the various aperture times or integration times.

Table 4-2. DC, AC, or AC + DC Voltage: Resolution versus Aperture or Integration Times

Range	Maximum Reading	*Effective Resolution versus Aperture Time (seconds) or Integration Time (PLCs)					
		1.67s (2.0s) 100 PLCs	167 ms (200 ms) 10 PLCs	16.7 ms (20.0 ms) 1 PLC	1.67 ms (2.0 ms) 0.1 PLCs	100 μ s (100 μ s) 0.005 PLCs	10 μ s (10 μ s) 0.0005 PLCs
30 mV	30.30000 mV	10 nV	10 nV	10 nV	100 nV	1 μ V	10 μ V
300 mV	303.0000 mV	100 nV	100 nV	100 nV	1 μ V	10 μ V	100 μ V
3V	3.030000V	1 μ V	1 μ V	1 μ V	10 μ V	100 μ V	1 mV
30V	30.30000V	10 μ V	10 μ V	10 μ V	100 μ V	1 mV	10 mV
300V	300.0000V	100 μ V	100 μ V	100 μ V	1 mV	10 mV	100 mV

*In 10 and 100 NPLC, more digits may be returned.

NOTE: 50 Hz aperture times are enclosed in parentheses.

DC Voltage Measurements

The multimeter can measure DC voltage from 30 mV to 300V with resolution from 10 nV to 100 μ V depending on aperture or integration time selected. DC voltage is the multimeter's power-on function.

Each of the following commands selects the DC voltage function:

```
MEASure:VOLTage:DC? [ <expected value> [, <resolution> ] ]
CONFigure:VOLTage:DC [ <expected value> [, <resolution> ] ]
[SENSe:]FUNctIon:VOLTage[:DC]
```

AC and AC + DC Voltage Measurements

The multimeter can measure AC or AC + DC voltages in a bandwidth of 20 Hz to 1 MHz for all ranges. The multimeter uses a true RMS-to-DC converter for AC and AC + DC voltage measurements. It can measure the true RMS value of signals that are noisy, non-periodic, or non-sinusoidal such as sawtooth, triangle, and square waveforms. It also measures the true RMS value of low repetition rate, high crest factor (ratio of peak to RMS) pulse trains. In addition, the RMS-to-DC converter can measure any of these waveforms riding on a DC voltage level and can either include the DC level in the RMS value (AC + DC voltage measurements) or block the DC component (AC voltage measurements).

Each of the following commands selects the AC voltage function:

```
MEASure:VOLTage:AC? [ <expected value > [, <resolution > ] ]
CONFigure:VOLTage:AC [ <expected value > [, <resolution > ] ]
[SENSe:]FUNctIon:VOLTage:AC::INPut:COUPling AC
```

Each of the following commands selects the AC + DC voltage function:

```
MEASure:VOLTage:ACDC? [ <expected value > [, <resolution > ] ]
CONFigure:VOLTage:ACDC [ <expected value > [, <resolution > ] ]
[SENSe:]FUNctIon:VOLTage:AC::INPut:COUPling DC
```

Resistance Measurements

The multimeter can make 2-wire and 4-wire resistance measurements. Table 4-3 shows the resistance ranges and the resolution available for the various aperture times or integration times.

**Table 4-3. 2-Wire or 4-Wire Ohms:
Resolution versus Aperture or Integration Times**

Range	Maximum Reading	*Effective Resolution versus Aperture Time (seconds) or Integration Time (PLCs)					
		1.67s (2.0s) 100 PLCs	167 ms (200 ms) 10 PLCs	16.7 ms (20.0 ms) 1 PLC	1.67 ms (2.0 ms) 0.1 PLCs	100 μs (100 μs) 0.005 PLCs	10 μs (10 μs) 0.0005 PLCs
30 Ω	30.30000 Ω	10 μΩ	10 μΩ	10 μΩ	100 μΩ	1 mΩ	10 mΩ
300 Ω	303.0000 Ω	100 μΩ	100 μΩ	100 μΩ	1 mΩ	10 mΩ	100 mΩ
3 kΩ	3.030000 kΩ	1 mΩ	1 mΩ	1 mΩ	10 mΩ	100 mΩ	1 Ω
30 kΩ	30.30000 kΩ	10 mΩ	10 mΩ	10 mΩ	100 mΩ	1 Ω	10 Ω
300 kΩ	303.0000 kΩ	100 mΩ	100 mΩ	100 mΩ	1 Ω	10 Ω	100 Ω
3 MΩ	3.030000 MΩ	1 Ω	1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω	1 kΩ
30 MΩ	30.30000 MΩ	10 Ω	10 Ω	10 Ω	100 Ω	1 kΩ	10 kΩ
300 MΩ	303.0000 MΩ	100 Ω	100 Ω	100 Ω	1 kΩ	10 kΩ	100 kΩ
3 GΩ	3.030000 GΩ	1 kΩ	1 kΩ	1 kΩ	10 kΩ	100 kΩ	1 MΩ

*In 10 and 100 NPLC, more digits may be returned.

NOTE: 50 Hz aperture times are enclosed in parentheses.

The multimeter measures resistance by sourcing a known current through the unknown resistance being measured. The current passing through the resistance generates a voltage across the resistance. The multimeter measures this voltage and calculates the unknown resistance (*resistance = voltage/current*). Table 4-4 shows the nominal current sourced on each range for both 2-wire and 4-wire measurements.

NOTE: The offset compensation function prevents small external offset voltages from affecting 2-wire and 4-wire resistance measurements. Refer to "Offset Compensation," later in this chapter, for more information.

Selecting Aperture Time and Number of Periods

When using **SENSe:FUNCTION** to perform frequency and period measurements, it is possible to enter the Aperture Time (for frequency), or the Number of Periods (for period).

NOTE

*By specifying the resolution in a **MEASure** or **CONFigure** command, the Counter automatically selects the aperture time or number of periods required to obtain that resolution. Explicitly selecting aperture time or number of periods using **SENSn:FREQ:APER**, **SENSn:PER:NP**, or **SENsn:RAT:NP** is not required and sometimes ignored by the Counter.*

Aperture Time (Gate Time)

Aperture time is the period of time the Counter samples the input signal to make a frequency measurement. This period of time directly determines how much resolution you can obtain with a frequency measurement.

Setting the Aperture Time

Aperture time can be specified by using the **SENSe** command. Setting the aperture time selects a specific resolution.

Aperture time can be set from 2 mS to 65,536 seconds in 16 binary steps. If you specify an aperture time that is not one of the binary steps, the next highest binary step is used. For example, if you specify 10 mS, aperture time is set to 16 mS. 2mS is selected at turn-on or reset. Table 4-2 shows resolution versus aperture time for the 16 different steps available.

Number of Periods

The number of periods is the number of cycles that the Counter samples the input signal to make a period or ratio measurement. This period of time directly determines how much resolution you can obtain with these measurement.

Setting the Number of Periods

The number of periods can be specified by using the **SENSe** command. Setting the number of periods selects a specific resolution.

Number of periods can be set from 2 to 65,536 cycles in 16 binary steps. If you specify a number of periods that is not one of the binary steps, the next highest binary step is used. For example, if you specify 10, number of periods is set to 16. 2 cycles are selected at turn-on or reset. Table 4-3 shows resolution versus number of periods for the 16 different steps available.

Table 4-2. Resolution versus Aperture Time

Aperture Time in msec	Resolution in Hertz	Min Frequency for 6 digits of Resolution	Min Frequency for 5 digits of Resolution	Min Frequency for 4 digits of Resolution	Min Frequency for 3 digits of Resolution
2	500 Hz				500 kHz
4	250 Hz			2.5 MHz	250 kHz
8	125 Hz			1.25 MHz	125 kHz
16	62.5 Hz			625 kHz	62.5 kHz
32	31.25 Hz		3.1 MHz	313 kHz	31.3 kHz
64	15.625 Hz		1.5 MHz	156 kHz	15.6 kHz
128	7.813 Hz		781 kHz	78.1 kHz	7.81 kHz
256	3.977 Hz	4.0 MHz	398 kHz	39.8 kHz	3.98 kHz
512	1.953 Hz	1.9 MHz	195 kHz	19.5 kHz	1.95 kHz
1024	.977 Hz	977 kHz	98 kHz	9.77 kHz	977 Hz
2048	.488 Hz	488 kHz	40 kHz	4.88 kHz	488 Hz
4096	.244 Hz	244 kHz	24 kHz	2.44 kHz	244 Hz
8192	.122 Hz	122 kHz	12 kHz	1.22 kHz	122 Hz
16384	.061 Hz	61 kHz	6 kHz	610 Hz	61 Hz
32768	.031 Hz	30 kHz	3 kHz	310 Hz	31 Hz
65536	.015 Hz	15 kHz	1.5 kHz	150 Hz	15 Hz

You set aperture time with the command `SENSr:FREQ:APER xxx` (xxx = the aperture time in seconds)

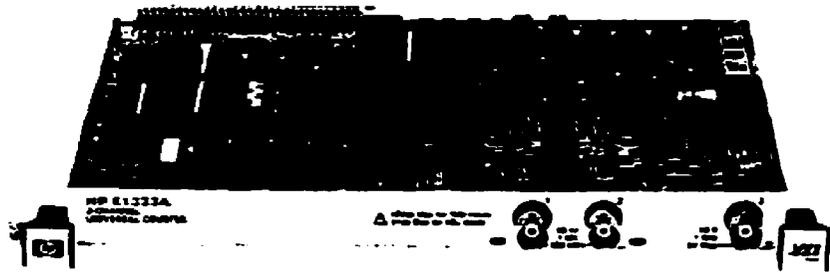
Table 4-3. Resolution versus Number of Periods

Number of Periods to Average	Resolution in Seconds	Max Frequency for 6 digits of Resolution	Max Frequency for 5 digits of Resolution	Max Frequency for 4 digits of Resolution	Max Frequency for 3 digits of Resolution
2	100 nsec	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz
4	50 nsec	20 Hz	200 Hz	2 kHz	20 kHz
8	25 nsec	40 Hz	400 Hz	4 kHz	40 kHz
16	12.5 nsec	80 Hz	800 Hz	8 kHz	80 kHz
32	6.25 nsec	160 Hz	1.6 kHz	16 kHz	160 kHz
64	3.13 nsec	320 Hz	3.2 kHz	32 kHz	320 kHz
128	1.56 nsec	640 Hz	6.4 kHz	64 kHz	640 kHz
256	781 psec	1.28 kHz	12.8 kHz	128 kHz	1.28 MHz
512	390 psec	2.56 kHz	25.6 kHz	256 kHz	2.56 MHz
1024	195 psec	5.12 kHz	51.2 kHz	512 kHz	
2048	97.6 psec	10.24 kHz	102.4 kHz	1.024 MHz	
4096	488.8 psec	20.48 kHz	204.8 kHz	2.048 MHz	
8192	24.4 psec	40.96 kHz	409.6 kHz		
16384	12.2 psec	81.92 kHz	819.2 kHz		
32768	6.10 psec	162.84 kHz	1.63 MHz		
65536	3.05 psec	326.78 kHz	3.27 MHz		

You set number of periods with the command `SENSr:PER:NPOR xxx` (xxx = the number of periods)

3-Channel Universal Counter HP E1333A

- Six counter functions
- 1 GHz frequency measurement
- 1 ns time interval & pulse width resolution (average mode)
- Programmable input coupling, termination, attenuator, low-pass filter, and trigger levels



✓	ITG/VEE Drivers
✓	SCPI Compatible
✓	Compiled SCPI
✓	3-Year Warranty

8-size, 1-slot. Register-based

The HP E1333A 3-Channel Universal Counter provides the capabilities needed for electronic test applications. You can connect three signals to one counter card and multiplex between them to measure frequency. Counter functions include frequency, period average, pulse width and pulse width average, time interval and time interval average, and totalize.

Frequency Measurement

Minimum Pulse Width $2 \frac{1}{2} \mu s$
Channels 1 & 2: 5 ns
Resolution: 1/Gate time

Period Average Measurement

Channels 1 or 2 average $2 N$ periods of an input signal. You select the resolution directly in seconds or the number of periods to be averaged.

Minimum Pulse Width: 60 ns

Range of N : 1 to 16

Resolution: $1 / (10 \times 10^6 \times 2 N) s$

Pulse Width (with average mode) Measurement

Minimum Pulse Width: 200 ns

Maximum Pulse Width:
($687 \frac{1}{2} N$) s

Range of N : 0 to 7

Resolution: ($100/2 N$) ns

Time Interval (with Average Mode) Measurement

You can measure the time interval between transitions from one channel to another channel. You select the resolution directly in seconds or the number of intervals, $2 N$ to be averaged. You select the rising or falling edge via software commands.

Minimum Interval: 200 ns

Maximum Interval: ($687 \frac{1}{2} N$) s

Range of N : 0 to 7

Resolution: ($100/2 N$) ns

Totalizing

You can count the number of transitions on channels 1 & 2.

Minimum Pulse Width: 5 ns

Range: 1 to (236-1)

Frequency Ratio Measurement

You can measure the frequency ratio between channels 1 & 2 or channels 2 & 1. You select the resolution directly or the number of transitions, $2 N$ on one channel.

Minimum Pulse Width: 5 ns

Range of N : 6 to 36

Resolution: $1 / 2 N$

Input Signal Conditioning commands control all channels simultaneously.

Trigger level/sensitivity commands are available for each channel.

Specifications

Time Base

Frequency: 10 MHz

Initial Accuracy: 2 ppm

Aging Rate: 2 ppm / year

Temperature Drift: 5 ppm
(0 to 50 °C)

Channels 1 & 2

Frequency Range:

AC Coupled: 100 Hz to 100 MHz

DC Coupled: DC to 100 MHz

Coupling:

Programmable AC
or DC coupled

Input Impedance (typical):

Programmable 1 M Ω shunted by
50 pF or 50 Ω

Filter:

Programmable Low Pass Filter.
3 dB point at 100 kHz

Input Attenuator:

Programmable x1 or x10
attenuator

Input Range:

(select the input attenuator)

Low Range: ± 5 V

High Range: ± 42 V

Trigger Level:

Low Input Range:
-2.56 V to 2.54 V in 20 mV step

High Input Range:
-25.6 V to 25.4 V in 0.2 V step

Sensitivity:

Low Input Range
(DC to 100 MHz): 25 mV

High Input Range
(DC to 100 MHz): 250 mV

Dynamic Range:

Low Input Range
(DC to 100 MHz): 43 dB

High Input Range
(DC to 100 MHz): 41 dB

Channel 3

Frequency Range:

75 MHz to 1 GHz, prescaled by 64

Coupling: AC coupled

Input Impedance: 50 Ω

Input Range: ± 5 Vpk

Sensitivity:

75 MHz to 600 MHz: 10 mV

600 MHz to 900 MHz: 30 mV

900 MHz to 1 GHz: 40 mV

Dynamic Range:

75 MHz to 600 MHz: 51 dB

600 MHz to 900 MHz: 41 dB

900 MHz to 1 GHz: 39 dB

VSWR (typical): 1.5 @ 0 dBm

Power Requirements

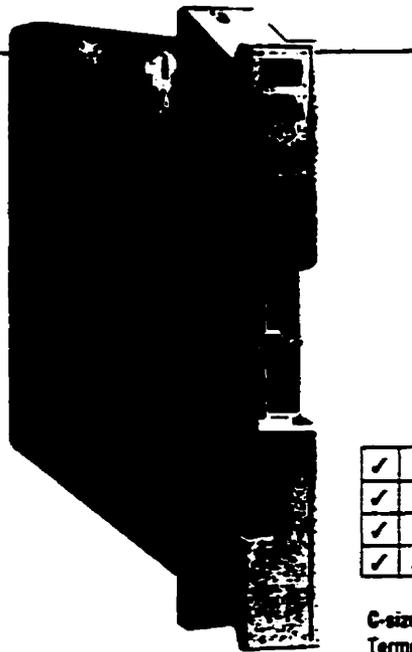
See Module Power and Cooling
Information Table in the
System & Configuration
Information section.

Ordering Information

3-Channel Universal Counter: _____ HP E1332A
• ML-STD-15662A Calibration _____ Oct 16N
• Assembly Level Service Manual _____ Oct 19J
• Component Level Information _____
Packet: _____ E1332-30033

¹For adapting this product to a C-size mainframe, refer
to the HP E1403B Adapter description in Section 12.

- 64 2-wire, 32 3-wire, 32 4-wire, or 128 single-ended latching relay channels
- Reconfigurable.
For Example: Eight 1x8 multiplexers, Four 1x8 and two 1x16 multiplexers, Two 1x32 multiplexers, One 1x64 multiplexer, or 128 single-ended channels
- Special configuration for testing the insulation and continuity of cables
- 10 MHz bandwidth*
- Break-before-make channel scanning



✓	ITG/VEE Drivers
✓	SCPI Compatible
✓	Complied SCPI
✓	3-Year Warranty

C-size, 1-slot Register-based Terminal module shown installed

9

Specifications

Maximum Voltage Terminal to Terminal:
220 Vdc; 250 Vac_{rms}

Terminal to Chassis:
220 Vdc; 250 Vac_{rms}

Maximum Current per Channel or Common (non-inductive):

1Adc or ac_{rms}
(V_{max} < 30 Vdc or _{rms})

0.3Adc or ac_{rms}
(V_{max} < 220 Vdc or 250 V_{rms})

Maximum Power per Channel: 40 VA

Bias Current:

From HI or LO to chassis; per group of 16 channels:
< 0.5 nA/V (at 25 °C, 25% RH)

Thermal Offset per Channel:
< 7µV (differential H-L)

Closed Channel Resistance:
< 1.5 W initially
< 3.5 W at end of relay life

Insulation Resistance (Between any two points):
> 5x10⁶ W (at 40 °C, 95% RH)
> 5x10⁸ W (at 25 °C, 40% RH)

Relay Life:

@ No Load: 5x10⁶ Operations
@ Rated Load: 105 Operations

Note: Relays are subject to normal wear out based on the number of operations.

Bandwidth (-3dB):

*The -3dB is typically > 25 MHz BW

Z(load) = Z(source) = 50
2-Wire mode (4x16): > 10 MHz
1-Wire mode (1x128): > 3 MHz

Crosstalk between Channels

@ 10 kHz:
2-Wire mode (4x16): < -90 dB
1-Wire mode (1x128): < -60 dB

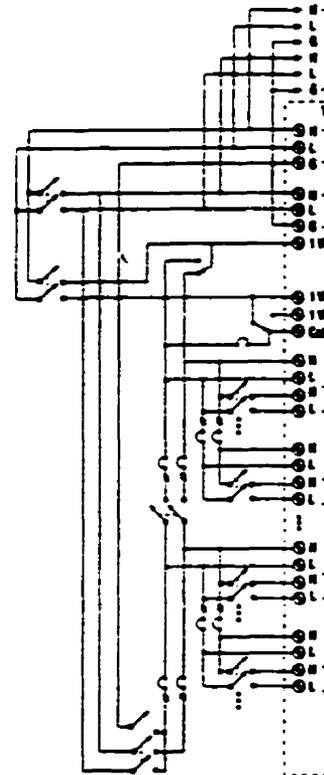
Open Channel Capacitance (Channel-Channel, Channel-Common):

2-Wire mode (4x16): < 30 pF
1-Wire mode (1x128): < 380 pF

Closed Channel Capacitance (Hi-Lo / Lo-Chassis):

2-Wire mode (4x16): 650/700 pF

Maximum Screw Terminal Wire Size: 18 AWG



Ordering Information

64-Channel Relay Multiplexer (includes Analog Bus Cable)	HP E1460A
Extra Screw Terminal Module	E1460-00001
Service manual	Opt 083

Note: One terminal module is included with switch module

Etalonnage du couple

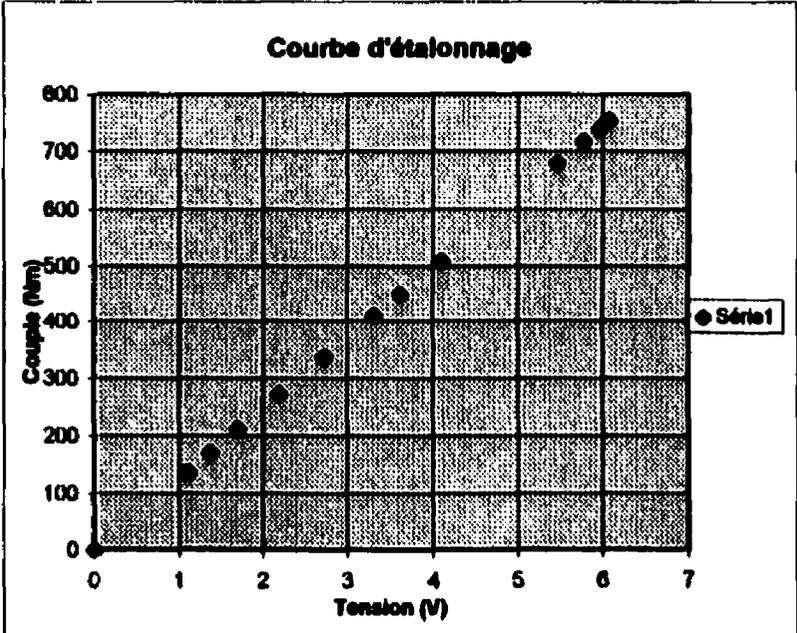
Cellule Aries

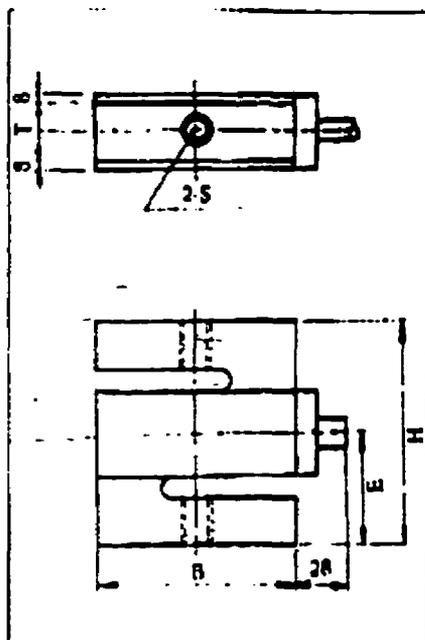
Couple01.xls

16/04/98		Tension	Masse Tot	Couple	m,b	124.0084	-0.43291
Levier	Levier	Volt	kg	N-m	sm,sb	0.030455	0.111457
po	m	0.0022	0	0	r2,sy	0.999999	0.317609
29.994	0.761848	1.0915	18.14668	135.5886	F,dF	16579247	23
g		1.3642	22.68335	169.4857	sreg,sres	1672437	2.320132
9.80749		2.7326	45.3667	338.9715			
Poids	masse	4.1009	68.05005	508.4572			
Lbs	kg	5.4692	90.7334	677.943	xmoy	3.00716	3.00716
0	0	6.0731	100.7367	752.6857	x0	1	2
40	18.14668	5.9605	98.8715	738.7493	y	123.5735	247.5799
10	4.53667	5.9936	99.4213	742.8573	sy	0.317609	0.317609
50	22.68335	6.0736	100.7367	752.6857	t95%	2.068655	2.068655
50	22.68335	5.7771	95.8028	715.8206	(1/n+...)	0.077043	0.049327
50	22.68335	5.4726	90.7334	677.943	dy95%	0.182367	0.145922
22.04967	10.0033	4.1068	68.05005	508.4572	e%95	0.147578	0.05894
17.93849	8.1381	2.7392	45.3667	338.9715			
19.15039	8.6879	1.3724	22.68335	169.4857			
22.04967	10.0033	1.0999	18.14668	135.5886			
11.17428	5.0694	0.0066	0	0			
		1.0973	18.14668	135.5886			
		1.6992	28.14998	210.3314			
		2.1897	36.26808	271.1377			
		2.7131	44.97598	336.0521			
		3.3168	54.97928	410.7949			
		3.6222	60.04668	448.6725			
		1.0987	18.14668	135.5886			
		0.006	0	0			

L'étalonnage à été effectuer avec la cellule montée sur le dynamomètre. Il s'agit donc d'un étalonnage en Couple.

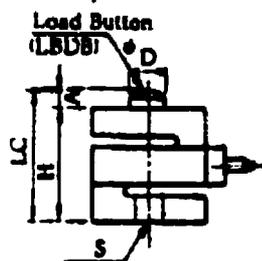
Le but de cet étalonnage est de déterminer l'erreur de la chaîne d'acquisition. la régression linéaire est différente de celle utilisée pendant les essais de rendement car le gain et le décalage à zéro des amplis de conditionnement est différent.



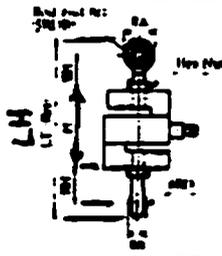


Installation drawing

For compression service



For tension service

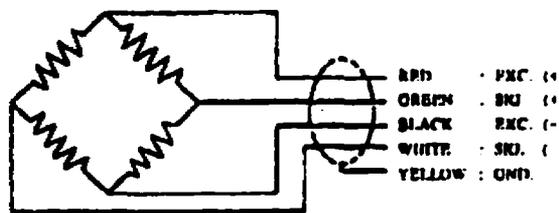


MODEL	DRB	
Rated capacity (R.C.)	20, 50 kgf	100, 200, kgf, 1, 2.
Rated output (R.O.)	2mV/V ± 0.5%	3mV/V ± 0
Non-linearity	0.03% R.O.	
Hysteresis	0.03% R.O.	
Repeatability	0.03% R.O.	
Zero balance	1% R.O.	
Temp. range, compensated	-15 - 70°C	
Temp. range, safe	-20 - 80°C	
Temp. effect on rated output	± 0.1% LOAD/10°C	
Temp. effect on zero balance	± 0.05% R.O./10°C	
Terminal resistance, input	3500 ± 3.50	
Terminal resistance, output	3500 ± 50	
Electrical connection	ø6mm x 4C x 3m	
Insulation resistance (Min.)	2000MΩ	
bridge to ground	1000MΩ	
Excitation, recommended	10V	
Excitation, Max.	15V	
Safe overload	150% R.C.	

Spherical Rod end Bearing No.	Load Cell			Dimension														Weight (kg)
	Model No	Rated Capacity		H	B	T	E	øD	øRD	RA	RB	A	RH	LT	LC	S		
SR1DB 1	20 - 50 DRB	20 - 50 kgf		62	58	20	31	16	6	18	9	7	28	136	69	M6x1, D.13	0.3	
SR1DB 2	100 - 200 DRB	100 - 200 kgf		72	58	20	36	22	12	34	16	10	41	188	82	M12x1.75, D.16	0.3	
SR2DB 2	500 DRB	500 kgf		72	58	20	36	22	12	34	16	10	41	188	82	M12x1.75, D.18	0.6	
SR1DB 2	1000 DRB	1 t		72	58	20	36	22	12	34	16	10	41	188	82	M12x1.75, D.17	0.6	
SR1DB 3	2000 DRB	2 t		96	90	30	48	30	16	39	19	14	42	219	110	M20x1.5, D.28	1.8	
SR1DB 4	5000 DRB	5 t		124	112	50	62	34	18	43	20	16	50	267	140	M24x2, D.40	4.6	

The DRB type load cells are designed for testing, weighing and force measurements in tension & compression. They are made of high quality aluminium (from 20 kgf to 200 kgf) and chrome plated high quality tool steel (from 500 kgf to 5 tonne). It is recommended that the load cells be installed vertically. Use of spherical rod end bearing (SRDB) is recommended to eliminate misalignments when the load cells are under tension.

WIRING SCHEMATIC



*Specifications are subject to change without notice.

For further information and applications assistance contact:-



ARIES INSTRUMENTS LTD.

P.O. BOX 882, PICKERING, ONTARIO L1V 3T3

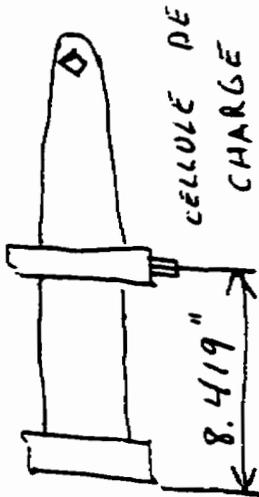
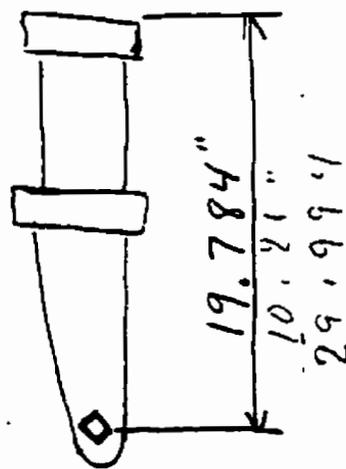
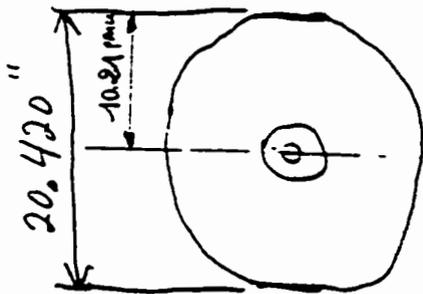
TEL: (416) 839-7811

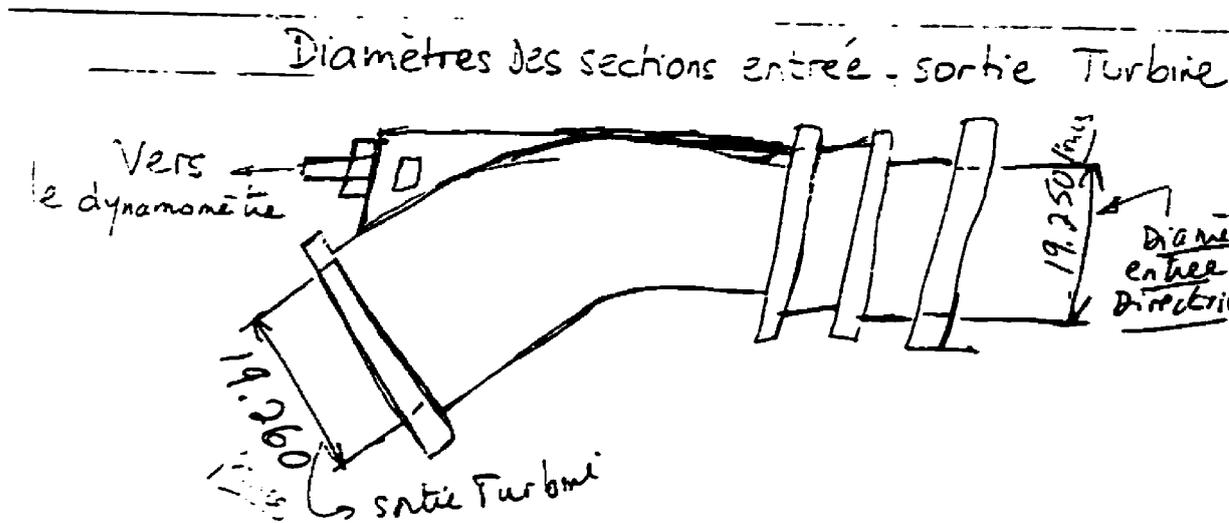
TLX: 00981474

FAX: (416) 839-4325

DYNAMOMÈTRE

bras charge

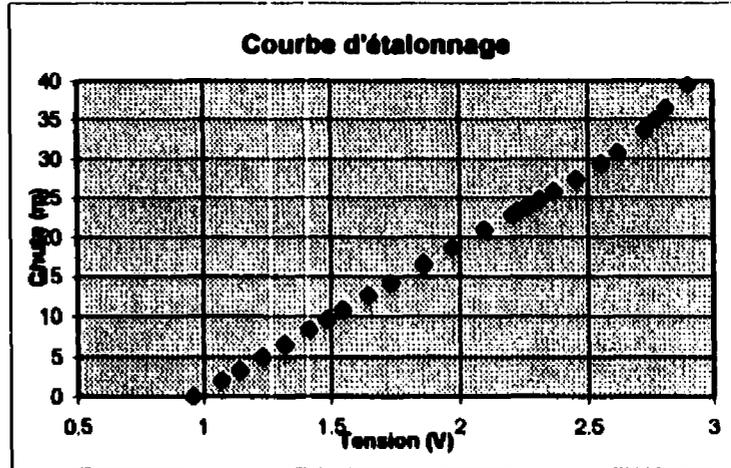




\Rightarrow c'est 1% d'écart
sur $H = 30$ m et $G =$

Rosemount_01

Volts	psi	m
2.90024	56.09061	39.50125
2.81174	51.6944	36.40526
2.77117	49.74631	35.03334
2.72682	47.72422	33.6093
2.61896	43.75203	30.81193
2.55243	41.76794	29.41465
2.45388	38.97781	27.44973
2.36707	36.6397	25.80314
2.31008	35.15163	24.75518
2.26299	33.92158	23.66893
2.22614	32.98153	23.21283
2.20315	32.3635	22.79167
2.0984	29.62738	20.86479
1.97314	26.36323	18.56604
1.86204	23.46509	16.52505
1.73447	20.14094	14.18406
1.64791	17.86683	12.59682
1.54812	15.23271	10.72748
1.48547	13.65263	9.614728
1.41498	11.81855	8.323096
1.31902	9.32043	6.56382
1.23288	7.07833	4.984843
1.1435	4.75222	3.346703
1.0708	2.86213	2.015626
0.96051	0	0



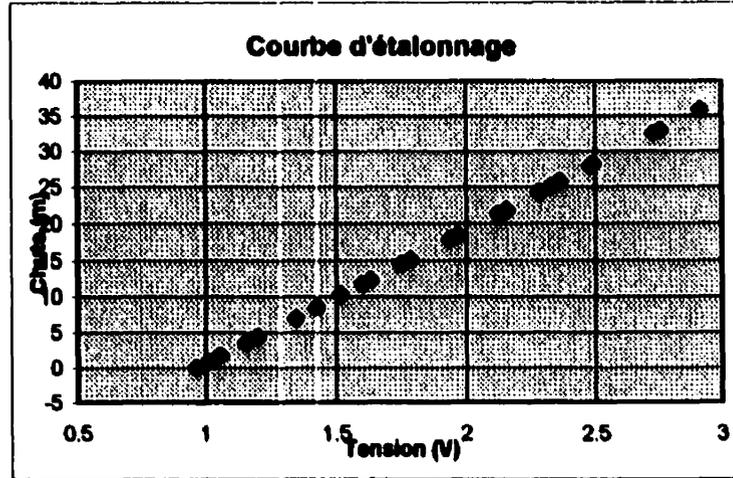
18.44144 -17.774
 0.038445 0.069327
 0.999926 0.085195
 258040.7 19
 1858.394 0.137908

xmoy	x0	y	s	195%	(1/n+...)	dy95%	e95%
1.832559		2.6	30.17371	0.085195	2.093025	0.1554	0.070293
						0.232962	

$$dy = s_y t_{95;19} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2}} \quad e_{95\%} = 100 \left(\frac{dy}{y} \right)$$

Rosemount_02

Psi	Volt	Pa	m
0.03	0.96238	206.8427	0.021133
0.032	0.96243	220.6322	0.022542
0.032	0.96245	220.6322	0.022542
0.032	0.96248	220.6322	0.022542
0.032	0.96251	220.6322	0.022542
1.30406	1.01141	8991.177	0.918636
1.30406	1.01144	8991.177	0.918636
1.30406	1.01144	8991.177	0.918636
1.30406	1.01143	8991.177	0.918636
1.30406	1.01144	8991.177	0.918636
2.55812	1.05944	17637.62	1.802051
2.55812	1.05961	17637.62	1.802051
2.55812	1.05964	17637.62	1.802051
2.55812	1.05965	17637.62	1.802051
2.55812	1.05965	17637.62	1.802051
5.02223	1.15436	34627.08	3.537876
5.02223	1.15436	34627.08	3.537876
5.02223	1.15436	34627.08	3.537876
5.02223	1.15436	34627.08	3.537876
5.02223	1.15437	34627.08	3.537876
12.09056	1.42574	83361.48	8.517114
12.09256	1.42588	83375.27	8.518523
12.09456	1.426	83389.06	8.519932
12.09656	1.42606	83402.85	8.521341
12.10056	1.42616	83430.42	8.524159
21.477	1.78575	148078.7	15.12933
21.477	1.78572	148078.7	15.12933
21.475	1.78571	148064.9	15.12792
21.475	1.7857	148064.9	15.12792
21.475	1.78569	148064.9	15.12792
26.30522	1.97082	181368.1	18.53054
26.30322	1.97073	181354.3	18.52913
26.30122	1.9707	181340.5	18.52772
26.30122	1.97068	181340.5	18.52772



18.37651 -17.6779
 0.001135 0.002175
 1 0.007799
 2.62E+08 123
 15953.69 0.007482

xmoy x0 y s 195% (1/n+...) dy95% e95%
 1.816002 3 37.45167 0.007799 1.979438 0.423313 0.010044 0.026819

$$dy = s_y t_{95;123} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2}}$$

$$e_{95\%} = 100 \left(\frac{dy}{y} \right)$$

Rosemount_02

26.30122	1.97067	181340.5	18.52772
31.12145	2.1554	214574.8	21.9233
31.11945	2.15526	214561.1	21.92169
31.11745	2.15521	214547.3	21.92048
31.11745	2.15519	214547.3	21.92048
31.11545	2.15516	214533.5	21.91907
34.4396	2.28253	237452.7	24.26075
34.4356	2.28238	237425.1	24.25793
34.4336	2.28227	237411.3	24.25652
34.4336	2.28219	237411.3	24.25652
34.4316	2.28214	237397.5	24.25511
39.69785	2.48364	273707	27.96489
39.69785	2.48379	273707	27.96489
39.69785	2.48375	273707	27.96489
39.69585	2.48373	273693.3	27.96348
39.69585	2.48373	273693.3	27.96348
46.17215	2.73168	318345.8	32.52566
46.17215	2.73163	318345.8	32.52566
46.17215	2.73159	318345.8	32.52566
46.17215	2.73155	318345.8	32.52566
46.17015	2.73151	318332	32.52425
51.01437	2.91674	351731.7	35.93673
51.01237	2.91669	351717.9	35.93532
51.01237	2.91666	351717.9	35.93532
51.01237	2.91663	351717.9	35.93532
51.01037	2.9166	351704.1	35.93392
46.85418	2.75742	323048.2	33.00611
46.85618	2.75755	323062	33.00752
46.85618	2.75756	323062	33.00752
46.85618	2.75756	323062	33.00752
46.85618	2.75755	323062	33.00752
39.98586	2.49452	275692.8	28.16777
39.98586	2.49457	275692.8	28.16777
39.98586	2.49463	275692.8	28.16777
39.98786	2.49465	275706.6	28.16916

Rosemount_02

39.98786	2.49468	275706.6	28.16918
38.5057	2.36141	251697.9	25.7162
38.5097	2.36155	251725.5	25.71901
38.5097	2.3618	251725.5	25.71901
38.5117	2.36163	251739.3	25.72042
38.5117	2.36165	251739.3	25.72042
35.65366	2.3289	245823.3	25.11598
35.65366	2.32895	245823.3	25.11598
35.65766	2.32901	245850.9	25.1188
35.65766	2.32904	245850.9	25.1188
35.65766	2.32907	245850.9	25.1188
30.28141	2.12305	208783	21.33154
30.28741	2.12322	208824.3	21.33576
30.28741	2.1233	208824.3	21.33576
30.28741	2.12335	208824.3	21.33576
30.29141	2.12339	208851.9	21.33858
25.44318	1.93777	175424.6	17.92328
25.44718	1.93782	175452.1	17.9261
25.44718	1.93788	175452.1	17.9261
25.45118	1.93793	175479.7	17.92891
25.45118	1.93797	175479.7	17.92891
20.52895	1.74927	141542.1	14.46148
20.52895	1.74932	141542.1	14.46148
20.52895	1.74936	141542.1	14.46148
20.53095	1.74937	141555.9	14.46289
20.53095	1.74939	141555.9	14.46289
17.49481	1.63311	120622.5	12.3241
17.49481	1.63312	120622.5	12.3241
17.49881	1.63314	120650	12.32692
17.49881	1.63226	120650	12.32692
16.68078	1.6019	115009.9	11.75066
14.51067	1.5187	100047.5	10.22194
14.51067	1.5187	100047.5	10.22194
14.51267	1.51872	100061.3	10.22335
14.51467	1.51874	100075.1	10.22476

Rosemount_02

14.51467	1.51875	100075.1	10.22476
10.05047	1.34768	69295.55	7.079987
10.05247	1.34761	69309.34	7.081396
10.05247	1.34758	69309.34	7.081396
10.05447	1.34758	69323.13	7.082804
10.05447	1.34759	69323.13	7.082804
6.18429	1.19955	42639.18	4.358482
6.18429	1.19932	42639.18	4.358482
6.18629	1.1992	42652.97	4.357891
6.18629	1.19917	42652.97	4.357891
6.18629	1.19916	42652.97	4.357891
2.38011	1.05389	16410.28	1.676653
2.38211	1.05339	16424.07	1.678062
2.38211	1.05319	16424.07	1.678062
2.38211	1.05309	16424.07	1.678062
2.38411	1.05305	16437.88	1.67947
0	0.9818	0	0
0	0.98149	0	0
-0.002	0.98133	-13.7895	-0.00141
-0.002	0.98126	-13.7895	-0.00141
-0.002	0.98122	-13.7895	-0.00141

CALIBRATION

Calibration of the Rosemount Model 1151 Differential Pressure Transmitter is simplified by its compact and explosion-proof design, external span and zero adjustments, separate compartments for electronics and wiring, and weatherproof construction. Descriptions of span, linearity, and zero adjustments follow.

CAUTION

When replacing housing covers, tighten the covers enough to make contact with the O-ring seals. If the covers are not tightened enough, moisture can enter the housing and cause transmitter failure.

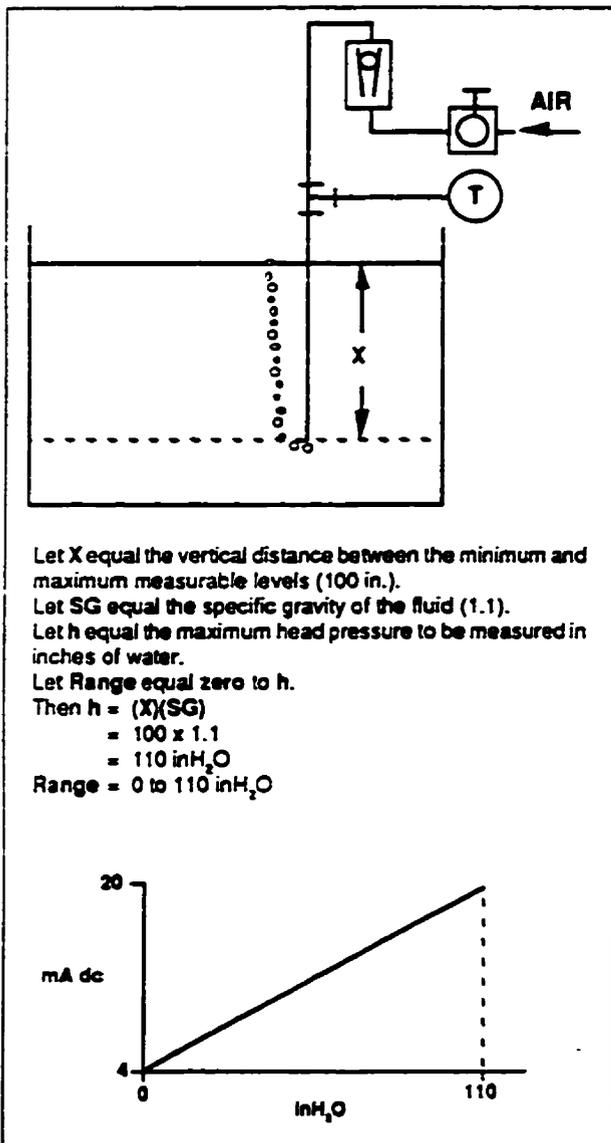


FIGURE 1-4. Bubbler Liquid Level Measurement Example

SPAN ADJUSTMENT RANGE

The span on all Model 1151 transmitters is continuously adjustable to allow calibration anywhere between maximum span and one-sixth of maximum span. For example, the span on a Range 4 transmitter can be adjusted between 25 inH₂O and 150 inH₂O.

ZERO ADJUSTMENT RANGE

The zero on a Model 1151 with the E or G output options can be adjusted for up to 500% suppression or 600% elevation. See Figure 1-5. The zero may be elevated or suppressed to these extremes with the limitation that no applied pressure within the calibrated range exceeds the full-range pressure limit. For example, a Range 4 transmitter cannot be calibrated for 100 to 200 inH₂O (only 100% zero suppression) because 200 inH₂O exceeds the 150 inH₂O full-range pressure limit of a Range 4.

To make large elevation or suppression adjustments, it is necessary to move a jumper pin on the component side of the amplifier board. Figure 1-6 shows elevation and suppression jumper settings. The jumper pin has three

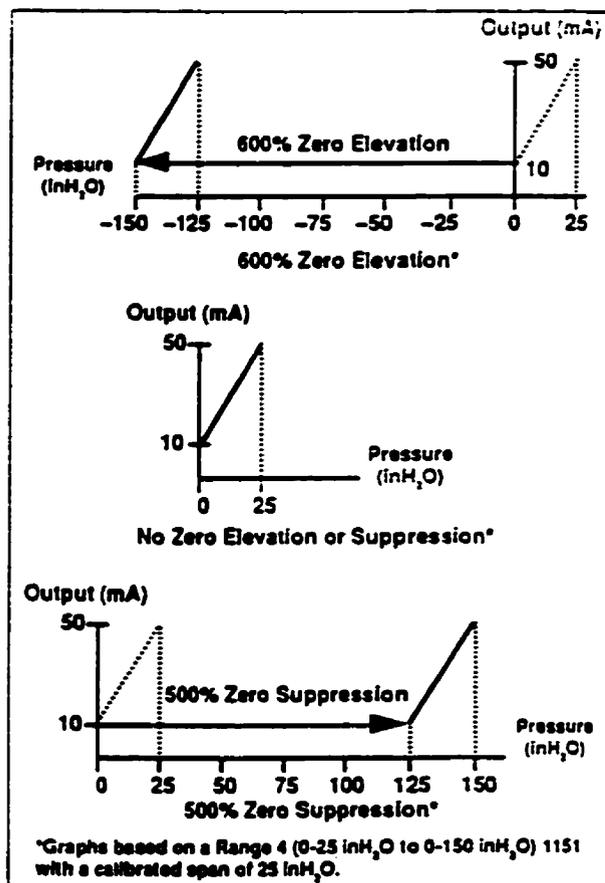


FIGURE 1-5. Zero Adjustment Range

positions. The middle position allows normal levels of elevation or suppression. To make larger adjustments, move the jumper to the ELEVATE ZERO (EZ) or SUPPRESS ZERO (SZ) as marked.

NOTE

Always make sure that the jumper is fully seated on its pins. If the jumper has not been placed in any of the three positions, the amplifier board will provide normal levels of elevation or suppression. A slide switch replaces the jumper pin on some versions of the amplifier board.

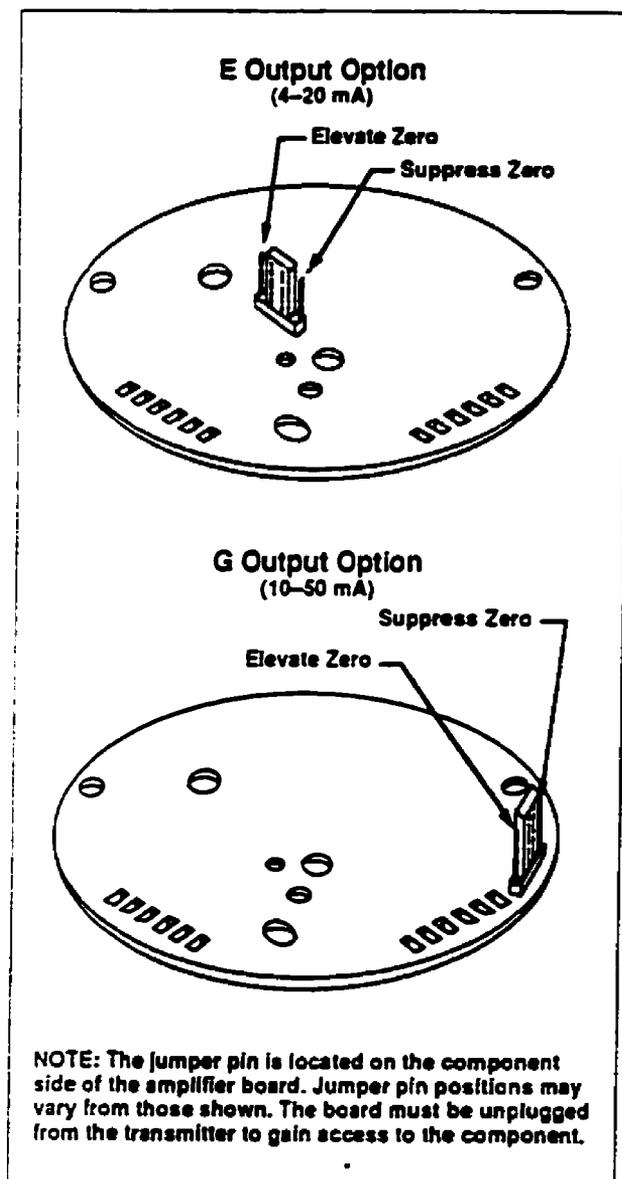


FIGURE 1-6. Elevation and Suppression Jumper Settings

ZERO AND SPAN ADJUSTMENT

The zero and span adjustment screws are accessible externally behind the nameplate on the terminal side of the electronics housing. See Figure 1-7. The output of the transmitter increases with clockwise rotation of the adjustment screws.

The zero adjustment screw and ELEVATE ZERO/SUPPRESS ZERO jumper do not affect the span. Span adjustment, however, does affect zero. This effect is minimized with zero-based spans. Therefore, when calibrations having elevated or suppressed zeros are made, it is easier to make a zero-based calibration and achieve the required elevation or suppression by adjusting the zero adjustment screw (and ELEVATE ZERO/SUPPRESS ZERO jumper as required).

A degree of mechanical backlash is present in the zero and span adjustments, so there will be a dead band when the direction of adjustment is changed. Because of the backlash, the simplest procedure, if the desired setting is overshoot, is to purposely overshoot a larger amount before reversing the direction of the adjustment.

Example for a Model 1151DP Range 4: For a desired calibration of 0 to 100 inH₂O, use the following procedure:

1. Adjust the zero. With zero input applied to the transmitter, turn the zero adjustment screw until the transmitter reads 4 mA.
2. Adjust the span. Apply 100 inH₂O to the transmitter high side connection. Turn the span adjustment screw until the transmitter output reads approximately 20 mA.
3. Release the input pressure and readjust the zero output to read 4 mA \pm 0.032 mA.

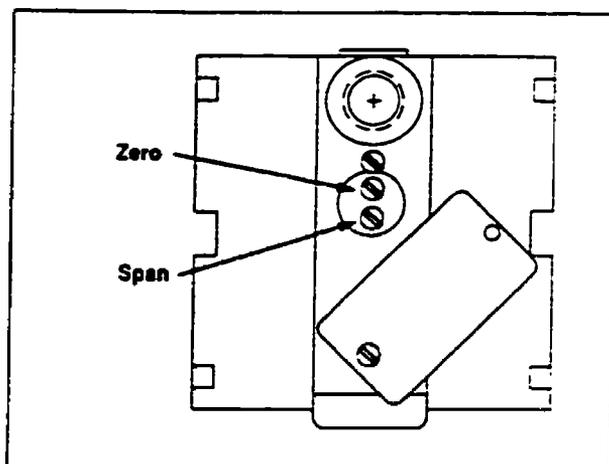


FIGURE 1-7. Zero and Span Adjustment Screws

4. Re-apply 100 inH₂O to the transmitter. If the output reading is greater than 20 mA, multiply the difference by 0.25, and subtract the result from 20 mA. Adjust the 100% output to this value.

If the output reading is less than 20 mA, multiply the difference by 0.25 and add the result to 20 mA. Adjust the 100% output to this value.

Example: The full scale transmitter output is 20.100 mA. Multiplying 0.100 by 0.25 gives the product 0.025. Subtracting the product 0.025 from 20.00 mA gives the difference 19.975 mA. Adjust the 100% output to this value.

5. Release input pressure and readjust the zero.
6. Apply 100% input and repeat Steps 3 through 5 if the full scale output is not 20 ±0.032 mA.

NOTE

Under operating conditions that subject the transmitter to temperature extremes or significant vibration, mechanical backlash may occur in the zero and span adjustment screws. To improve the stability of zero and span settings in these circumstances, back off the adjustment screws slightly after final adjustment to break contact between the potentiometer blades and the adjustment screw slot surfaces.

ELEVATED OR SUPPRESSED ZEROS

Non-zero-based calibrations are termed as having "elevated" or "suppressed" zeros. Calibrations that have a lower calibrated value below zero are termed elevated. Compound ranges are included in this category. Calibrations that have a lower calibrated value above zero are termed suppressed.

The easiest way to calibrate transmitters with elevated or suppressed zeros is to perform a zero-based calibration and then elevate or suppress the zero by adjusting the zero adjustment screw.

Model 1151DP Range 4 Suppression Example: For a desired calibration of 20 to 120 inH₂O, proceed as follows:

1. Calibrate the transmitter to 0 to 100 inH₂O as described in the zero and span adjustment information.
2. Apply 20 inH₂O to the high side process connection, and adjust the zero until the transmitter output reads 4 mA. Do not use the span adjustment.

Model 1151DP Range 4 Elevation Example: For calibration of -120 to -20 inH₂O, proceed as follows

1. Calibrate the transmitter to 0 to 100 inH₂O described in the zero and span adjustment information.
2. Apply 120 inH₂O to the low side process connection and adjust the zero until the transmitter output reads 4 mA. Do not use the span adjustment.

NOTE

For large amounts of elevation or suppression, it may be necessary to reposition the ELEVATE/SUPPRESS ZERO jumper. To do this, remove the amplifier board, and move the jumper to the ELEVATE or SUPPRESS position as required. See Figure 1-6.

LINEARITY ADJUSTMENT

In addition to the span and zero adjustments, a linear adjustment screw (marked LIN) is located on the solder side of the amplifier board. See Figure 1-8. This is factory calibration adjusted for optimum performance over the calibrated range of the instrument and normally is not readjusted in the field. The user may, however, maximize linearity over a particular range using the following procedure:

1. Apply mid-range pressure and note the error between the theoretical and actual output signal.
2. Apply full-scale pressure. Multiply the error noted in Step 1 by six and then that product by the Range Down Factor, which is calculated as shown below:

$$\text{Range Down Factor} = \frac{\text{Maximum Allowable Span}}{\text{Calibrated Span}}$$

Add this result to the full-scale output (for negative errors), or subtract the result from the full-scale output (for positive errors) by turning the linearity adjustment screw.

Example: At a 4 to 1 Range Down Factor, the mid-scale point is low by 0.05 mA. Therefore, turn the linearity adjustment screw until full-scale output increases by (0.05 mA x 6 x 4) = 1.2 mA.

3. Readjust the zero and span.

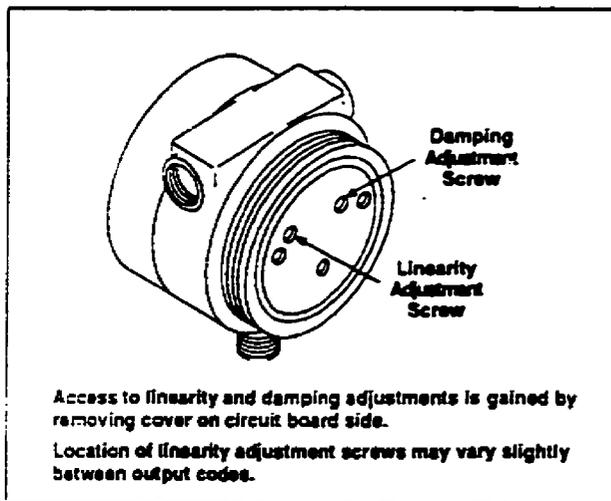


FIGURE 1-8. Damping and Linearity Adjustment Screws

DAMPING ADJUSTMENT

The amplifier boards are designed to permit damping of rapid pulsations in the pressure source through adjustment of the damping screw shown in Figure 1-8. The adjustment is marked DAMP on the solder side of the amplifier board.

The settings available provide time constant values between 0.2 and 1.66 seconds. The instrument is calibrated and shipped with this control set at the counterclockwise stop (0.2 second time constant). It is recommended that the shortest possible time constant setting be selected. Since the transmitter calibration is not influenced by the time constant setting, the damping may be adjusted with the transmitter connected to the process. Turn the damping control clockwise until the desired damping is obtained.

CAUTION

The adjustment screw has positive stops at both ends. Forcing it beyond the stops may cause permanent damage.

STATIC PRESSURE SPAN CORRECTION FACTOR

High static pressure causes a systematic span shift in the transmitter. It is linear and easily correctable during calibration. Table 1-1 shows the amount of span shift for range codes 3 through 8:

TABLE 1-1. 1151DP/HiDP Span Shift

Range Code	Span Shift % Input Per 1000 PSI		
	316L SST	Hastelloy	Monel
3	-1.75%	-1.00%	-1.00%
4	-0.87%	-0.60%	-0.50%
5	-0.81%	-0.70%	-0.75%
6	-1.45%	-1.45%	-1.45%
7	-1.05%	-1.05%	-1.05%
8	-0.55%	-0.55%	-0.55%

The following examples illustrate a compensation method of accounting for the span shift. For more complicated calibration conditions, refer to Rosemount Report D8500141 or contact a Rosemount salesperson.

Example 1 - Refer to Table 1-2: A Model 1151DP Range 4 with a 4-20 mA output operating at 1200 psi static pressure requires the output at 100% to be corrected to 20.168 mA. Therefore, the transmitter should be adjusted from 4 to 20.168 mA during calibration. After installation, and with both process inputs pressurized to 1200 psi, readjust the zero to 4.000 mA to remove the small zero error.

Temperature Limits**Amplifier operating:**

-20 to 200 °F (-29 to 93 °C).

Sensing element operating with silicone fill:

-40 to 220 °F (-40 to 104 °C).

Sensing element operating with inert fill:

0 to 160 °F (-18 to 71 °C).

Storage:

-60 to 250 °F (-51 to 121 °C).

Optional Meters:

Analog: -40 to 149 °F (-40 to 65 °C).

LCD: -40 to 185 °F (-40 to 85 °C).

Static Pressure and Overpressure Limits

0 psia to 2000 psig (0 to 13.79 MPa) on either side without damage to the transmitter.

Operates within specifications between static line pressures of 0.5 psia and 2000 psig (3.44 kPa to 13.79 MPa) for silicone oil transmitters, and between atmospheric and 2000 psig (13.79 MPa) for inert-filled transmitters.

10,000 psig (68.95 MPa) proof pressure on the flanges.

Humidity Limits

0 to 100% relative humidity.

Volumetric Displacement

Less than 0.01 in³ (0.16 cm³).

Damping

Time constant continuously adjustable between 0.2 and 1.67 seconds with silicone fill.

Inert fill: Higher time constant.

Turn-on Time

2 seconds, no warm-up required.

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

(Zero-based spans, reference conditions, silicone oil fill, and 316 SST isolating diaphragms)

Accuracy

±0.2% of calibrated span.

Includes combined effects of hysteresis, repeatability and independent linearity.

Consult factory for availability of ±0.1% option.

Independent Linearity

±0.1% of calibrated span.

Hysteresis

0.05% of calibrated span (0.1% for Range 5, or Range 3 with inert fill).

Dead Band

None.

Stability

±0.2% of upper range limit for 6 months.

Temperature Effect

At maximum span: e.g., 0 to 150 inH₂O (0 to 37.29 kPa) for Range 4:

Zero Error: ±0.5% of span per 100 °F (55 °C).

Total Effect: (span and zero errors) ±1.0% of span per 100 °F (55 °C).

Note: Double the specified effect for Range 3.

At minimum span: e.g., 0 to 25 inH₂O (0 to 6.22 kPa) for Range 4:

Zero Error: ±3.0% of span per 100 °F (55 °C).

Total Effect including span and zero errors: ±3.5% of span per 100 °F (55 °C).

Note: Double the specified effect for Range 3.

Static Pressure Effect

Zero Error: ±0.25% of upper range limit for 2000 psi (13.79 MPa). ±0.5% for Range 3. Correctable through rezeroing at line pressure.

Span Error: Correctable to ±0.25% of reading per 1000 psi (6.9 MPa), or to ±0.5% of reading per 1000 psi (6.9 MPa) for Range 3.

Vibration Effect

±0.05% of upper range limit per g to 200 Hz in any axis.

Power Supply Effect

Less than 0.005% of output span per volt.

Load Effect

No load effect other than the change in power supplied to the transmitter.

Mounting Position Effect

Zero shift of up to 1 inH₂O (0.24 kPa) which can be calibrated out.

No span effect.

No effect in plane of diaphragm.

PHYSICAL SPECIFICATIONS**Materials of Construction****Isolating Diaphragms:**

316 SST, Hastelloy C-276, Monel, or tantalum.

Drain/Vent Valves:

316 SST, Hastelloy C, or Monel.

Process Flanges and Adapters:

Cadmium or Nickel-plated carbon steel, 316 SST, Hastelloy C, or Monel.

Wetted O-rings:

Viton (other materials also available).

Fill Fluid:

Silicone oil or inert fill.

Bolts:

Cadmium-plated carbon steel.

Electronics Housing:

Low-copper aluminum. NEMA 4X.

Paint:

Epoxy-polyester.

Process Connections

1/4 NPT on 2 1/8 in. (54 mm) centers on flanges.

1/2 NPT on 2 (50.8 mm), 2 1/8 (54 mm), or 2 1/4 in. (57.2 mm) centers with adapters.

Electrical Connections

1/2-inch conduit with screw terminals and integral test jacks compatible with miniature banana plugs (Pomona 2944, 3690, or equivalent).

Weight

12 lb (5.4 kg) excluding options.

Terminology per SAMA Standard PMC20.1-1973.

1151HiDP HIGH DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSMITTER

Rosemount Model 1151 HiDP (Range Code through 8) specifications follow.

FUNCTIONAL SPECIFICATIONS

Service

Liquid, gas, and vapor.

Ranges

0-17 to 0-100 psid (0-117.2 to 0-689.5 kPa).

0-50 to 0-300 psid (0-0.34 to 0-2.07 MPa).

0-170 to 0-1000 psid (0-1.17 to 0-6.89 kPa).

Outputs

4-20 mA dc or 10-50 mA dc.

Smart 4-20 mA dc (See PDS 2593).

Power Supply

External power supply required.

4-20 mA dc: Transmitter operates on 12 to 45 V dc with load.

10-50 mA dc: Transmitter operates on 30 to 85 V dc with no load.

Load Limitations

See Figure 4-1.

Indication

Optional meter with 2 in. (50.8 mm) scale.

Indication accuracy is $\pm 2\%$.

Hazardous Locations**Factory Mutual (FM) Approvals**

Explosion Proof: Class I, Divisions 1 and 2, Groups C, and D. Dust-Ignition Proof: Class II, Divisions 2, Groups E, F, and G. Suitable for Use In: Class I, Divisions 1 and 2. Indoor and outdoor use. NEMA

Canadian Standards Association (CSA) Approvals

Certified for Class I, Division 2, Groups A, B, C, and D; Class I, Division 1, Groups C and D; Class II, Divisions 1 and 2, Groups E, F, and G; Class III, hazardous locations; CSA enclosure 4, factory 5

Intrinsic Safety Approvals

FM and CSA certifications optional for special Classes, Divisions, and Groups when connected to approved barrier systems. See summary in Product Data Sheet 2360.

FM Explosion Proof tag is standard. Appropriate tag may be substituted if optional certification selected.

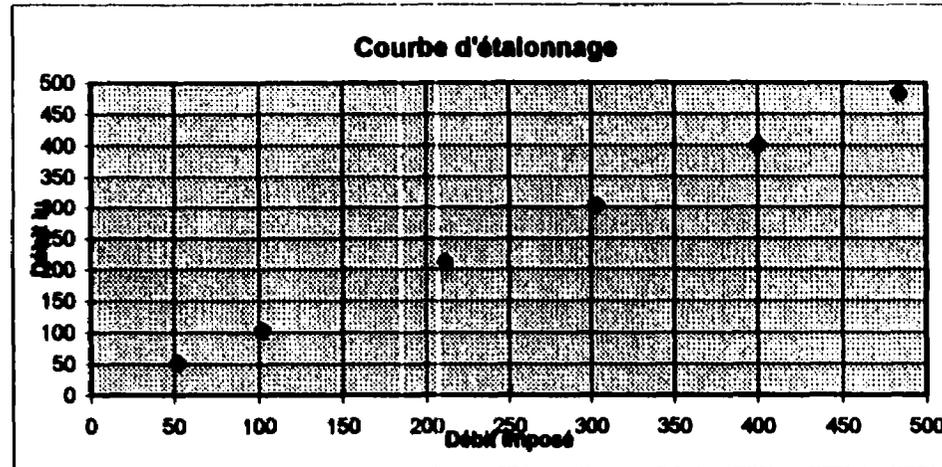
Débitmètre

Q imposé	Q lu	dy/y%
484	484	0
400.4	400.7	0.07
303.1	303.1	-0.01
211.5	211.4	-0.05
211.7	211.8	0.04
102.8	103	0.17
52.32	52.4	0.15
399.9	400	0.03

mu	0.05
s	0.076904
195%	2.364623
e95%	0.23185

Q imposé	Q lu	dy/y%
484	484	0
400.4	400.7	0.07
303.1	303.1	-0.01
211.5	211.4	-0.05
211.7	211.8	0.04
399.9	400	0.03

mu	0.013333
s	0.042289
195%	2.570578
e95%	0.121989



1.000005	0.083688
0.000333	0.101999
0.999999	0.134534
9001910	6
162928.8	0.108596

xmoy	x0	y	s	195%	(1/n+...)	dy95%	e95%
270.715	50	50.08393	0.134534	2.446914	0.423999	0.214355	0.427991

$$dy = s_y t_{95;6} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$e_{95\%} = 100 \left(\frac{dy}{y} \right)$$

fast as flow metering to new levels of capability and performance.

The key to MagMaster's performance is the new sensor design with ultra linear magnetics and the new technology sensor drive and signal processing system. A quantum leap in magflow technology.

Two versions - Process MagMaster and Slurry MagMaster - a wide choice of materials, a range of optional features and core sizes from 15 to 1600mm, allow you to specify the meter to precisely match your application. Add in-built quality and Kent-Tay, or its experience and expertise in flow, and the answer to your flow application is obvious.

MagMaster - setting THE standards in flow technology.

SPECIFICATION

MagMaster is available in sizes 15 to 1600mm with integral and remote transmitters. System specification is detailed below. See also Specification - Sensors and Specification - Transmitter.

Configuration:

Transmitter may be integral with sensor for sizes ≤ 400 mm or remote from sensor for all sizes.

Separation (remote transmitters):

The lower of 100m or 5 x min. conductivity ($\mu\text{S/cm}$). Longer lengths to special order.

Accuracy (under reference conditions):

Flanged sensors:

Display, Serial comms, Frequency output:

$\pm 0.2\%$ of reading or $\pm 0.001\text{m/s}$ (whichever is the greater) up to a maximum velocity of $> 15\text{m/s}$. See Fig. 1.

Analogue output:

As Frequency output plus $\pm 0.002\text{mA}$

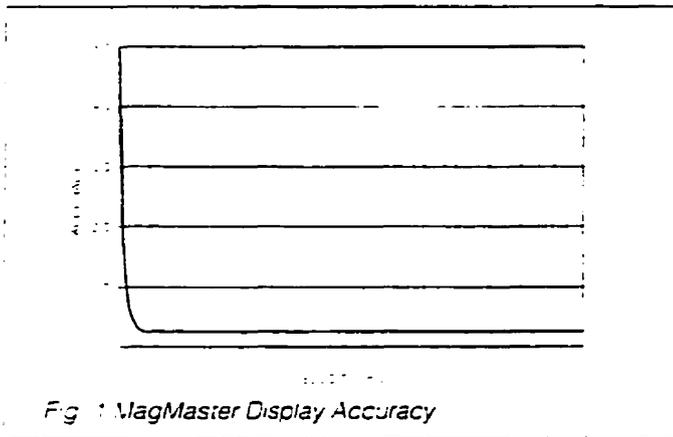


Fig. 1 MagMaster Display Accuracy

Wafer sensors:

As for flanged meters plus $\pm 0.3\%$ of reading.

Pressure effect:

Less than 0.15% over the operating range of the instrument.

Temperature effect:

Transmitter: Display, frequency output, Serial comms $\leq \pm 0.06\%$ of reading per 10°C .
Analogue output - as frequency plus $\leq \pm 0.08\%$ of reading per 10°C .

Sensor: $\leq \pm 0.03\%$ of rate per 10°C .

Repeatability & Reproducibility:

$\pm 0.05\%$ or $\pm 0.25\text{mm/s}$, whichever is the greater.

Power supply variation:

Mounting:

Each end of pipe at 90° attitude, but ensuring that the electrodes are not in the vertical plane.

Recommended mating pipe conditions:

Upstream: 5 to 10 diameters straight pipe depending on performance requirements and upstream disturbance.

Downstream: 2 to 3 diameters straight pipe depending on performance requirements and downstream disturbance.

Power consumption:

Less than 20VA

Hazardous Area Certification:

CENELEC Approved to EEx e m ia IIC T4 ($T_{\text{amb}} 60^\circ\text{C}$)
Detector head located in zone 1 or 2 location, zone 0 inside pipe.

Transmitter located in safe area. For hazardous area approval the sensor must not be permanently submerged but may be subject to accidental flooding.

Warm-up time:

1 minute

Calibration:

3 point, 8 point, witnessed & NAMAS (200 to 1600mm only) calibration options.

Sensor cable connection:

Standard, high temperature or armoured

SPECIFICATION - SENSORS

MagMaster sensors are available in flanged and wafer format and offer a wide choice of lining and electrode materials to satisfy all applications.

Sizes (Nominal Bore):

27 sizes from 15 to 1600mm ($1/2"$ to 66")

Metering Tube:

Stainless steel

Lining:

PFA-Perfluoro-alkoxy - UKWFBS listed for potable water.

Elastomer - UKWFBS listed for potable water.

Polypropylene - UKWFBS listed for potable water.

Ebonite, Bonded FEP, Polyurethane & Neoprene.

Electrodes:

Non-removable. Stainless steel, Hastelloy C, Titanium, Tantalum & Platinum Iridium.

Earthing Electrode:

Fitted as standard in flanged meters 15 to 1600mm and also in the same material as measuring electrodes.

Process connections:

Flat face carbon steel flanges to mate with BS4504, DIN, UNI, AFNOR, ANSI, AS2129 & BS10 flanges

or

Wafer meters - to mate with the following flange standards:

Nom Bore		BS 4504 2.5/6bar	BS 4504 10/16/25 40 bar	ANSI 150	ANSI 300	BS10 Table D & E
mm	in					
25	1	*	*	*	*	*
40	1 1/2	*	*	*	*	*
50	2	*	*	*	*	*
80	3	*	*	*	*	*
100	4	*	*	*	*	*
150	6	*	*	*	*	*

maximum pressure dictated by flange rating.
 Sizes above 600mm (24"):
 maximum pressure 6 bars irrespective of
 flange rating. Higher pressures to special
 order.

Wafer meters 50 bars.

Temperature:

Sensors (with integral transmitters):

- Ambient: -10 to +60°C
- Process Fluid:
- Polyurethane lining: -10 to +70°C
- All other linings: -10 to +80°C

Sensors (non-integral transmitter)* see Table B.

* For transmitter - see Specification - Transmitter

Environmental Protection:

Transmitters and sensors with integral transmitters.

IP65/NEMA 4X

Flanged sensors, no integral transmitters:

IP68/NEMA 6

(5m submersion depth for sizes ≤150mm indefinitely)

(10m submersion depth for sizes >150mm indefinitely)

Buriable

≤400mm are buriable to 5m depth

Wafer sensors:

IP65/NEMA 4X

Sensor Housing:

Wafer meters.

Epoxy coated SG iron

Flanged meters:

≤150mm Cast aluminium alloy Epoxy coated.

Non-hazardous area meters.

200/300mm: ABS 350/600mm: GRP

200, 600mm: Steel side panels.

Hazardous area meters:

15/150mm: Aluminium alloy.

200/600mm: Fabricated steel

SPECIFICATION - TRANSMITTER

The new technology microprocessor-based MagMaster transmitter is available in two versions - Process MagMaster and Slurry MagMaster

Slurry MagMaster is for use on all slurries, pulps and pastes

163
 traditional problems of noisy signals and spurious outputs. Process MagMaster is the first choice meter for all general applications and provides unsurpassed performance at most competitive price

Display (optional):

32-character (2 lines) high temperature super twist LCD and numeric display of flow rate, total flow, alarm conditions. Display scrolled and reset by magnetic reed switches.

Internal totaliser:

9-digit for forward, reverse and nett totals

Programming:

If data is supplied with order the transmitter is fully programmed before despatch. The transmitter can subsequently be reprogrammed on site using a local hand-held terminal with effect on performance. The transmitter is programmed in wide choice of engineering units and is fully flexible e.g. flow and total can be in different units.

Test mode:

After transmitter has been programmed, operation of the test mode will drive all outputs to programmed value to provide total system test.

Customer interface and display:

Multilingual choice of English, French, Spanish, Italian standard. Other languages as specials

Power supply:

Universal switch mode.

- AC 85 to 265V 45 to 400 Hz at 20VA max. or
- DC 11 to 40V at 20VA max.

Outputs:

- i) Analogue:
 Fully programmable for zero flow up to 20mA and flow direction.
 Fully isolated. Output capability >15V
- ii) Dual Analogue (optional):
 As (i) but separate outputs for forward and reverse flow. Non-active output is 4mA or 0mA
- iii) & iv) Dual Pulse:
 Forward and reverse flows 0 to 800Hz square wave fixed pulse width up to 2.5 sec. Fully programmable for pulse rate, cutoff, pulse width, etc. Minimum frequency resolution <0.1 pulse/day. Frequency limit settable 1H 800Hz in 1Hz steps. Isolated protected transistor switch capable of sinking >250mA. Voltage <35V.
- v) & vi) Dual Alarms: Isolated protected transistor switch capable of sinking >250mA to power OV. Voltage <35V.
 Note: Not isolated from frequency output.

Table B Temperature limits for Sensors (No integral transmitter)

Build Standard	Ambient Temp °C	Process Fluid Temperature (°C)						
		Polypropylene	PEP Teflon*	Elastomer	Ebonite	Polyurethane	PPA "tallon"	Necorene
Standard construction, non-HA	60	80	80	80	80	70	80	80
HA approved, standard temp.	60	60	60	60	60	60	60	60
HA approved, high temp.	60	100	120*	120*	95	70	120*	110*
High temp, non-HA	60	100	120	120	95	70	120	110
Special high temp., non-HA	120	100	120	120	95	70	120	110

* 200 to 600mm sizes limited to 100°C.

- ii) RS232C Local data connector for hand held configurator/ setup via 9 pin D connector
- iii) Serial communication RS423/RS422 (optional): Compatible data link.

Input:

External isolated contact closure for totaliser reset

Note. Not isolated from pulse and alarm outputs

Isolation:

Galvanic separation to 50V d.c. between analogue, pulse/ alarm, and earth/ground.

Temperature:

Operating: -10 to +60°C

Storage: -15 to +75°C

Environmental protection:

IP65/NEMA 4X Separate termination and electronics compartments IP65/NEMA 4X segregated.

Approvals:

Designed in accordance with IEC950, CSA FM and UL requirements.

Electrical safety: BS4743 Class 1 (IEC 348)

Vibration specification: BS2011 Part 2.1Fc 1983.

EMC Specification:

1. Confirms to BS6667 Part 3 Radiated susceptibility to 10V/m
2. Confirms to BS6527 Terminal voltage and radiated emissions
3. Confirms to BS200 'Interference Power'

Enclosure:

Glass loaded polypropylene, polycarbonate window

Self diagnostic:

Transmitter confirms correct operation of hardware w diagnosis, eg. coil drive.

Flow velocity setting:

Rangeable for flows corresponding to a maximum velocity > 15m/s.

Liquid sensing:

Programmable for nominal conductivity level. Liquid sensing results in drive to zero.

Interchangeability:

Transmitters are fully interchangeable with all size MagMaster sensor and configurable on site. Sensor specification not affected by transmitter change

Electrical connections:

20mm plastic glands, or 20mm brass glands, or 0.5 inch gland plate.

Time constant:

Fully programmable from 1 to greater than 100 secs.

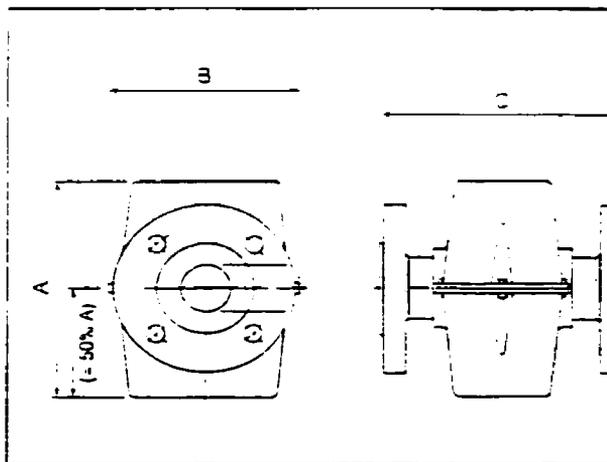
Integral transmitter display orientation:

The display is factory positioned to suit the specified orientation (ie. horizontal or vertical) The display is standard orientation, +90°, +180°, or +270°

DIMENSIONS

15 to 150mm flanged sensors without transmitter or terminal box

Meter Size NB	Dimensions		
	A	B	C
15mm	174	140	200
20mm	174	140	200
25mm	210	176	200
40mm	210	176	200
50mm	210	176	200
65mm	280	219	200
80mm	290	219	200
100mm	312	230.5	250
150mm	370	281	300



1er Juin 1994

Capteurs de pression

Toute l'information nécessaire à l'étalonnage des capteurs de pression est amassée. Il ne reste plus qu'à joindre les différentes références ainsi que les protocoles. Un petit réservoir mis sous pression au moyen d'une pompe à vélo permettra de faire l'étalonnage.

Sondes RTD

Amasser de l'information pertinente sur les méthodes d'étalonnage s'est avéré être une tâche difficile. Les principales références sont:

- Richard S. Figliola, Donald E. Beasley. *Theory and Design for Mechanical Measurements*. John Wiley & Sons, Inc., New-York, 2e édition 1993.
- James W. Dally, William F. Riley, Kenneth G. McConnel. *Instrumentation for Engineering Measurements*. John Wiley & Sons, Inc., New-York, 1991.

Il reste à sélectionner le modèle liant la mesure de résistance de la sonde à la température à mesurer et à définir le protocole d'étalonnage.

15 Juin 1994

Capteurs de pression

Le montage devant servir à l'étalonnage est prêt. Le réservoir et toutes la tuyauterie sont étanches. La valve de vélo utilisée ne donne cependant pas entièrement satisfaction à de basses pressions. Les balances DH sont plutôt insensibles aux perturbations parasites. Par contre elles répondent très bien aux variations légères de pression.

20 Juin 1994

Capteurs de pression

Les capteurs SE utilisés avec le tube de pitôt sont étalonnés ainsi que les deux PX180-100GV de OMEGA. Les balances sont prêtes mais celle pouvant indiquer des pressions relatives négatives ne stabilise pas sa mesure. Il va probablement falloir démonter la tête afin de trouver la source du problème. Le capteur OMEGA devant indiquer la pression atmosphérique sera étalonné cet après-midi ou demain. Des certificats d'étalonnage ont été conçus sur MS-Word et les premières copies ont été déposées dans le cartable.

Analyseur d'oxygène dissout

L'analyseur a été testé dans un petit bassin avec l'aide d'un appareil servant à dissoudre de l'air dans l'eau des aquariums. Il répond aux variations de la teneur en oxygène. Il va être nécessaire de trouver une solution de bisulfite de sodium afin d'étalonner le capteur.

Sondes RTD

Une des sondes a été retournée chez OMEGA puisqu'elle ne répondait pas de manière satisfaisante. La seconde (celle qui doit être immergée dans la conduite) sera étalonnée au courant de la semaine. Le modèle linéaire sera utilisé en premier lieu afin de relier la mesure de résistance à la température à mesurer. Des correctifs seront appliqués si une plus grande précision sur la mesure s'avère nécessaire.

23 Juin 1994

Capteurs de pression

Il n'est pas nécessaire d'étalonner formellement le capteur OMEGA PX811-020AV puisque le fabricant nous fournit la pente de l'instrument. Celui-ci possède par contre un léger décalage qui peut être mesuré avec l'aide d'un baromètre. Une procédure permettant d'effectuer cette mesure est incluse dans le cahier d'étalonnage. La balance DH modèle 710 ne donne pas actuellement de mesure stable. Il faudra voir avec le manufacturier quelle solution doit être envisagée afin de solutionner le problème.

Tube de pitôt

La sonde à cinq trous devra être étalonnée dans les prochains jours. Par certaines déductions nous en sommes arrivés à la conclusion que Netsch annulait le gradient de pression sur l'axe de la tige pour mesurer un des angles d'incidence de l'écoulement. Un rapporteur d'angle fixé sur le tube permettait alors la mesure. Deux courbes d'étalonnage lui permettait de déduire le second angle d'incidence ainsi que la vitesse absolue de l'écoulement en fonction des gradients de pression. Pour notre part nous envisageons plusieurs possibilités: la technique de Netsch, l'utilisation de courbes d'étalonnage strictement ou l'utilisation de matrices multidimensionnelles d'interpolation. Nous allons essayer de trouver quelques références sur le sujet et discuter avec Jean Lemay si possible avant d'arrêter un choix définitif sur la technique à utiliser.

HYDRO - QUÉBEC
 ESSAIS ET EXPERTISES TECHNIQUES
 5655, RUE DE MARSEILLE MONTRÉAL, (QUÉBEC) H1N 1J4

CERTIFICAT D'ETALONNAGE DE TRADUCTEUR DE PRESSION

DATE 30 AOUT 89PAGE: 1 DE 1

TRADUCTEUR:	ROSEMOUNT	0	BALANCE DH:	n/s:	0	0.0465273
MODELE:	3051C		Tête/Piston:	n/s:	294	type -
SERIE:	5526		Plage:		6	
ECHELLE MAX.:	250	kPa	Kn Piston:		0.99999	
LINÉARITÉ ORIGIN.:	0.1	%	Rés. 0°C:		99.65	ohm
ALIMENTATION:	25	V	Rés. Tête:		110.89	ohm
LECTEUR: (k)	16-699-03	1.00003141	Gravité loc:		9.8058	m/s ²
IMPEDANCE SORT.:	0		Fact. unité:		100	kPa/bar
TEMPERATURE:	26	°C	Press. ref.:		atmosphère	

$y = A + Bx$	DÉCALAGE: -62.3178 kPa	PENTE: 62.59208 kPa/V	$r = 0.99999$
	LINÉARITÉ (Rég Lin): +0.029	-0.020 %	

Lec. No.	Pression kPa	Traducteur V	Balance DH		Pres. calc. kPa	Dév. (%)	Remarque
			kPa	Comptes			
1	0	0.99483	0.000	0	-0.049	-0.020	0
2	48	1.76756	48.351	967.2	48.317	-0.014	0
3	96	2.53708	96.533	1931	96.483	-0.020	0
4	144	3.30570	144.634	2893.2	144.593	-0.017	0
5	192	4.07433	192.731	3855.3	192.703	-0.011	0
6	240	4.84235	240.762	4816.1	240.775	0.005	0
7	192	4.07793	192.921	3859.1	192.928	0.003	0
8	144	3.30910	144.764	2895.8	144.806	0.017	0
9	96	2.53898	96.563	1931.6	96.602	0.016	0
10	48	1.76776	48.256	965.3	48.330	0.029	0
11	0	0.99583	-0.015	-0.3	0.013	0.011	0

(*) Déviation % = (Pression calculée - Pression lue par la balance DH)/Pression pleine échelle x 100

NOTE: _____

PAR: J.D.

HYDRO - QUÉBEC
 ESSAIS ET EXPERTISES TECHNIQUES
 5655, RUE DE MARSEILLE MONTRÉAL, (QUÉBEC) H1N 1J4

CERTIFICAT D'ETALONNAGE DE TRANSDUCTEUR DE PRESSION

DATE 20 Août 1993PAGE: 1

TRANSDUCTEUR:	ROSEMOUNT	54-285-11	BALANCE DH:	n/s:	5822	.018
MODELE:	3051C		Tête/Piston:	n/s:	5823	type -
SERIE:	5527		Plage:		0.6	MPa
ECHELLE MAX.:	150	kPa	Kn Piston:		0.0999979	MPa/kg
LINÉARITÉ ORIGIN.:	0.1	%	Rés. 0°C:		.	ohm
ALIMENTATION:	24	V	Rés. Tête:		.	ohm
LECTEUR: (b)	0	1	Gravité loc:		9.80664	m/s ²
DECALAGE LECTEUR (a)		0	Fact. unité:		1000	kPa/MPa
TEMPERATURE:	22.3	°C	Press. ref.:	Atm.	100.070	kPa

$y = A + Bx$	DÉCALAGE: -37.55934 kPa	PENTE: 18.76694 kPa/V	$r = 0.999999$
	LINÉARITÉ (Rég Lin): + 0.034	-0.025 %	

Lec. No.	Pression kPa	Transducteur V	Balance DH		Pres. calc. kPa	Dév. (%)	Remarque
			kPa	Comptes			
1	-	2.00170	0.000	0	0.006	0.004	0
2	-	3.53900	28.879	2888	28.857	-0.015	0
3	-	5.13670	58.879	5888	58.841	-0.025	0
4	-	6.73360	88.818	8882	88.810	-0.006	0
5	-	8.32640	118.737	11874	118.702	-0.024	0
6	-	9.91830	148.567	14857	148.577	0.007	0
7	-	8.32180	118.607	11861	118.615	0.005	0
8	-	6.72930	88.678	8868	88.729	0.034	0
9	-	5.13280	58.759	5876	58.768	0.006	0
10	-	3.53710	28.809	2881	28.821	0.008	0
11	-	2.00178	0.000	0	0.008	0.005	0

(*) Déviation % = (Pression calculée - Pression lue par la balance DH)/Pression pleine échelle x 100

NOTE: 4-20 mA = 0-150.0 kPa environ 22 psi

Résistance 500 Ω

CALIBRATION NO 1 Nouvelle D.H. Nouvelle tête

PAR: J.D.

HYDRO - QUÉBEC
 ESSAIS ET EXPERTISES TECHNIQUES
 5655, RUE DE MARSEILLE MONTRÉAL, (QUÉBEC) H1N 1J4

CERTIFICAT D'ETALONNAGE DE TRANSDUCTEUR DE PRESSION

DATE 19 Mai 1993

PAGE: 1 DE 1

TRANSDUCTEUR:	ROSEMOUNT	54-295-12	BALANCE DH:	n/s:	3547	0.42653184
MODELE:	3051C		Tête/Piston:	n/s:	229	type -
SERIE:	5528		Plage:		3	bar
ECHELLE MAX.:	16.00	kPa	Kn Piston:		0.49999	bar/kg
LINÉARITÉ ORIGIN.:	0.1	%	Rés. 0°C:		99.94	ohm
ALIMENTATION:	24	V	Rés. Tête:		109.33	ohm
LECTEUR: (k)	25-980-03	1	Gravité loc:		9.80664	m/s ²
DECALAGE LECTEUR	Baker	0	Fact. unité:		100	kPa/bar
TEMPERATURE:	21	°C	Press. ref.:		atmosphère	99.87 kPa

$y = A + Bx$	DÉCALAGE: -07.9644 kPa	PENTE: 2.00284 kPa/V	r = 0.9999996
	LINÉARITÉ (Rég Lin): + 0.018	-0.017 %	

Lec. No.	Pression kPa	Transducteur V	Balance DH		Pres. calc. kPa	Dév. (%)	Remarques
			kPa	Comptes			
1	-	3.97699	0.000	0	0.001	0.005	0
2	-	5.17499	2.398	95.92	2.400	0.015	0
3	-	6.35428	4.765	190.6	4.762	-0.016	0
4	-	7.53700	7.130	285.2	7.131	0.009	0
5	-	8.71974	9.498	379.94	9.500	0.012	0
6	-	9.89809	11.861	474.46	11.860	-0.006	0
7	-	8.71973	9.499	380	9.500	0.002	0
8	-	7.53733	7.133	285.35	7.132	-0.011	0
9	-	6.35573	4.767	190.69	4.765	-0.012	0
10	-	5.17620	2.400	96	2.403	0.018	0
11	-	3.97632	0.002	0.09	0.000	-0.017	0

(*) Déviation % = (Pression calculée - Pression lue par la balance DH)/Pression pleine échelle x 100

NOTE: Plage 4 mA = -4.00 KPA 20 mA = 12.00 kPa -4 à 12 kPa

- Résistance 500 Ω

ETALONNAGE NO 1

PAR: J.D.

PX811 SERIES HIGH ACCURACY WET ABSOLUTE PRESSURE TRANSDUCERS

Call OMEGA Toll Free*

Sales: 1-800-82-66342 / 1-800-TC-OMEGA

Customer Service: 1-800-622-2376 / 1-800-622-BEST

Engineering Assistance: 1-800-872-9436 / 1-800-USA-WHEN

*In CT: (203) 359-1660 CABLE: OMEGA EASYLINK: 62968934
And International TELEX: 996404 FAX: (203) 359-7700

GENERAL DESCRIPTION

The OMEGA® PX811 is a rugged solid-state transducer that measures true absolute pressure of fluids and gases. For fast response and high accuracy, the PX811 utilizes a four-arm strain gage embedded in a silicon crystal. The transducer is free from hysteresis with high output at low strain. A stainless steel isolating diaphragm assures compatibility with a wide variety of liquid media.

FEATURES

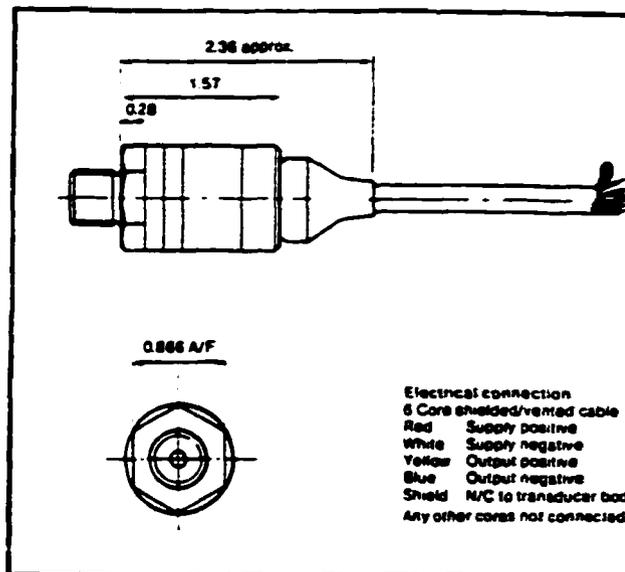
- High Accuracy 0.1% BFLS for Ranges \leq 900 PSIA
- Excellent Overpressure Rating
- Wide Compensated Range -5° to 175° (-20° to 80° C)

SPECIFICATIONS

MODEL	RANGE PSIA	MODEL	RANGE PSIA
PX811-005GAV	0 to 5	PX811-150GAV	0 to 150
PX811-010AV	0 to 10	PX811-200AV	0 to 200
PX811-015AV	0 to 15	PX811-300AV	0 to 300
PX811-020AV	0 to 20	PX811-500AV	0 to 500
PX811-030AV	0 to 30	PX811-900AV	0 to 900
PX811-050AV	0 to 50		
PX811-100AV	0 to 100		

EXCITATION:	10 Vdc regulated at 5 mA, 12 Vdc max.
OUTPUT:	50 mV for 5 psi range; 100 mV for 10 psi range and above
OUTPUT IMPEDANCE:	2000 ohms nominal
LOAD IMPEDANCE:	> 100 kilohms for rated performance
PERFORMANCE ACCURACY:	Combined non-linearity, hysteresis, and repeatability .1% B.S.L
ZERO BALANCE:	± 3 mV
SPAN SETTING:	± 10 mV standard; units of the same range are better than ± 3 mV from each
COMPENSATED TEMPERATURE RANGE:	-5° to 175° F (-20° to 80° C)
TEMPERATURE EFFECTS:	$\pm 0.5\%$ total error 32° to 122° F (0 to 50° C); $\pm 1.5\%$ total error -5° to 175° (-20° to 80° C)
OVERPRESSURE:	The rated pressure can be extended by 4X (to 2,000 psi max.) causing negligible calibration change.
BURST PRESSURE:	10x (3000 psi max.)
NATURAL FREQUENCY:	10.5 kHz for 5 psi range increasing to 210 kHz for 900 psi
MECHANICAL SHOCK:	1000g for 1 ms
ACCELERATION:	0.04% FSO/g for 5 psi decreasing to 0.0003% FSO/g for 900 psi

OUTSIDE DIMENSIONS/ELECTRICAL CONNECT



VIBRATION:	0.5% FS/g @ 30g peak 10Hz-2KHz
CONSTRUCTION PRESSURE MEDIA:	All media compatible with 316 stainless steel and Hastelloy C276
TRANSDUCTION PRINCIPLE:	Integrated silicon gage bridge
PRESSURE PORT:	1/4-18 NPT
ELECTRICAL CONNECTIONS:	3 feet 4-wire shielded cable
WEIGHT:	4.2 oz. nominal

WARNING!
READ BEFORE INSTALLATION

Fluid hammer and surges can destroy any pressure transducer and must always be avoided. A pressure snubber should be installed to eliminate the damaging hammer effects.

Fluid hammer occurs when a liquid flow is suddenly stopped, as with quick closing solenoid valves. Surges occur when flow is suddenly begun, as when a pump is turned on at full power or a valve is quickly opened.

Liquid surges are particularly damaging to pressure transducers if the pipe is originally empty. To avoid damaging surges, fluid lines should remain full (if possible), pumps should be brought up to power slowly, and valves opened slowly. To avoid damage from both fluid hammer and surges, a surge chamber should be installed, and a pressure snubber should be installed on every transducer.

Symptoms of fluid hammer and surge's damaging effects:

- a) Pressure transducer exhibits an output at zero pressure (large zero offset). If zero offset is less than 10% FS, user can usually re-zero meter, install proper snubber and continue monitoring pressure.
- b) Pressure transducer output remains constant regardless of pressure.
- c) In severe cases, there will be no output.

WARRANTY

OMEGA warrants this unit to be free of defects in materials and workmanship and to give satisfactory service for a period of 13 months from date of purchase. OMEGA Warranty adds an additional one (1) month grace period to the normal one (1) year product warranty to cover handling and shipping time. This ensures that our customers receive maximum coverage on each product. If the unit should malfunction, it must be returned to the factory for evaluation. Our Customer Service Department will issue an Authorized Return (AR) number immediately upon phone or written request. Upon examination by OMEGA, if the unit is found to be defective it will be repaired or replaced at no charge. However, this WARRANTY is VOID if the unit shows evidence of having been tampered with or shows evidence of being damaged as a result of excessive corrosion; or current, heat, moisture or vibration; improper specification; misapplication; misuse or other operating conditions outside of OMEGA's control. Components which wear or which are damaged by misuse are not warranted. These include contact points, fuses, and triacs.

THESE UNITS ARE INHERENTLY DANGEROUS AND ARE INTENDED TO BE INSTALLED AND USED ONLY BY QUALIFIED PERSONNEL. NO WARRANTY EXTENDED HEREIN WILL APPLY IF SUCH UNIT IS INSTALLED OR USED BY UNQUALIFIED PERSONNEL. THERE ARE NO WARRANTIES EXCEPT AS STATED HEREIN. THERE ARE NO OTHER WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. OMEGA ENGINEERING, INC. IS NOT RESPONSIBLE FOR ANY DAMAGES OR LOSSES CAUSED TO OTHER EQUIPMENT, WHETHER DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL OR CONSEQUENTIAL, WHICH THE PURCHASER MAY EXPERIENCE AS A RESULT OF THE INSTALLATION OR USE OF THE PRODUCT. THE BUYER'S SOLE REMEDY FOR ANY BREACH OF THIS AGREEMENT BY OMEGA ENGINEERING, INC. OR ANY BREACH OF ANY WARRANTY BY OMEGA ENGINEERING, INC. SHALL NOT EXCEED THE PURCHASE PRICE PAID BY THE PURCHASER TO OMEGA ENGINEERING, INC. FOR THE UNIT OR UNITS OF EQUIPMENT DIRECTLY AFFECTED BY SUCH BREACH.

EVERY PRECAUTION FOR ACCURACY HAS BEEN TAKEN IN THE PREPARATION OF THIS MANUAL. HOWEVER, OMEGA ENGINEERING, INC. NEITHER ASSUMES RESPONSIBILITY FOR ANY OMISSIONS OR ERRORS THAT MAY APPEAR NOR ASSUMES LIABILITY FOR ANY DAMAGES THAT RESULT FROM THE USE OF THE PRODUCTS IN ACCORDANCE WITH THE INFORMATION CONTAINED IN THE MANUAL.



An OMEGA Group Company

One Omega Drive, Box 4047
Stamford, Connecticut 06907-0047
(203) 359-1680 Telex: 986404 Cable: OMEGA
FAX: (203) 359-7700

SPECIFICATION

Date	3/2/94
Sales number	E0306
Serial Number	609711
Part No.	PX811-020AV
Pressure Range	20 psi a
Supply Voltage	10 Volts
Zero Offset	0 ± 3 mV
Sensitivity	0.46 mV/V/PSI
Non-Linearity & Hysteresis	max ± 0.1% BSL
Temperature Error Band	max ± 1.5% FRO
Compensated Temperature Range	-20°C to +80°C
Pressure Connection	1/4 NPT Flat
Electrical Connection	
Cable Length	3 FEET
Positive Supply	Red
Negative Supply	White
Positive Output	Yellow
Negative Output	Blue
Screen	See Application Data
Mounting Torque	15 lb.ft.

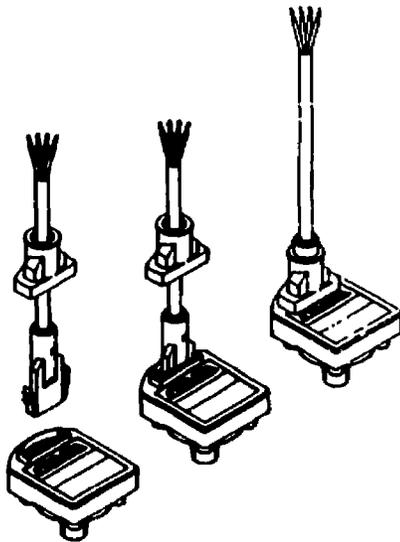
Calibration Traceable To National Standards

CALIBRATION DATA

Span: 91.69 mV @ 23°C

APPLICATION DATA

- 1 Supply voltage may be up to a maximum of 12 v. Transducer sensitivity and current consumption will be proportional to supply voltage.
- 2 Current consumption will not exceed 9 mA for standard supply voltage.
- 3 Zero offset can be nulled using a 250 Kohm potentiometer across the output terminals with the wiper connected to negative supply via a 250 Kohm resistor.
- 4 For best temperature stability, the transducer must be operated into a load impedance of > 50 Kohm.
- 5 A shunt calibration resistor may be connected between negative supply and the negative terminal to produce positive output. The output obtained may be temperature sensitive. In case of difficulty, refer to the manufacturer.
- 6 If a power supply ground is to be used, then the positive side should be grounded.
- 7 Following conventional practice, the cable shield is connected to the transducer body.



INSTRUCTIONS FOR INSTALLING/REMOVING CABLE

INSTALLING CABLE

1. INSERT CABLE INTO TRANSDUCER SLOT AS SHOWN. INSURE BOTH ARMS ARE SECURELY LATCHED (LISTEN FOR AUDIBLE SNAP & VISUALLY INSPECT)
2. SLIDE RUBBER BOOT OVER WIRE CONNECTOR AND TOWER ON TRANSDUCER. MAKE SURE BOOT IS SITTING FLUSH ON TRANSDUCER LID

TO REMOVE

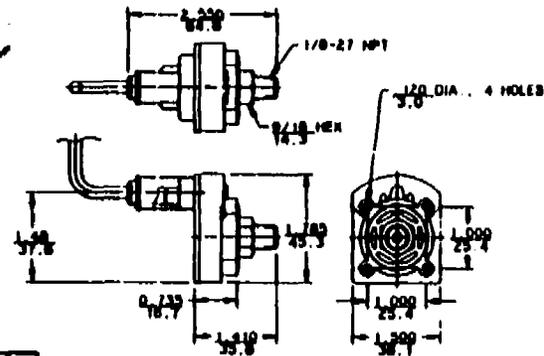
1. PULL RUBBER BOOT BACK OVER WIRE CONNECTOR BY SLOWLY ROCKING REAR PORTION OF BOOT
2. CAREFULLY INSERT SCREWDRIVER (FLAT) INTO WELL AREA ON EACH SIDE. (REFER TO DRAWING). AND DELATCH CONNECTOR BY PUSHING IT TO ONE SIDE. MAKE SURE ARM DOES NOT RELATCH. PULL CONNECTOR FROM TRANSDUCER WELL AREA.

Handwritten note: 10.50

SPECIFICATIONS

	MILLIVOLT	VOLTAGE	CURRENT
PRESSURE RANGE	0/15 TO 0/500 PSI	0/15 TO 0/500 PSI	0/15 TO 0/500 PSI
MAX. OVERPRESSURE	2 TIMES FULL SCALE RANGE OR 750 PSI WHATEVER IS LESS	SCALE RANGE OR 750 PSI WHATEVER IS LESS	SCALE RANGE OR 750 PSI WHATEVER IS LESS
BURST PRESSURE (AT 25°C)	3 TIMES FULL SCALE RANGE OR 750 PSI WHATEVER IS LESS		
EXCITATION	10 VDC	12 TO 25 VDC	12 TO 25 VDC
MULL OFFSET (AT 25°C)	0 mv ±1% SPAN	1.0 VDC ±1% SPAN	4.0 mA ±1.5%
SPAN (AT 25°C)	100 mv ±1% SPAN	4.0 VDC ±1% SPAN	20.0 mA ±1.5%
LINEARITY (RFL)	±0.25% SPAN	±0.25% SPAN	±0.25% SPAN
REPEATABILITY & HYSTERESIS	±0.05% SPAN	±0.05% SPAN	±0.05% SPAN
OPERATING TEMP. RANGE	-55° TO 105°C	-55° TO 105°C	-55° TO 105°C
COMPENSATED TEMP. RANGE	-5° TO 55°C	-5° TO 55°C	-5° TO 55°C
TEMP. ERROR (± SPAN)			
MULL SPAN	±0.50%	±0.50	±0.50
SPAN	±0.50%	±0.50	±0.50
RESPONSE TIME	< 1 MILLISECOND	< 1 MILLISECONDS	< 1 MILLISECONDS
STABILITY	±0.25% SPAN/YEAR	±0.25% SPAN/YEAR	±0.25% SPAN/YEAR
SHOCK	500 g _s	100 g _s	100 g _s
VIBRATION	10 g, 100-2000 Hz	10 g, 100-2000 Hz	10 g, 100-2000 Hz
WEIGHT	50 GRAMS	50 GRAMS	50 GRAMS
ELECTRICAL TERMINATIONS	#20 AWG SHIELDED WIRE	#20 AWG SHIELDED WIRE	#20 AWG SHIELDED WIRE
MEDIA COMPATABILITY	CONTACT FACTORY	CONTACT FACTORY	CONTACT FACTORY
HUMIDITY	PASSES MIL-STD-202F	PASSES MIL-STD-202F	PASSES MIL-STD-202F
CABLE LENGTH	METHOD 103B, CONDITION A 18 INCHES	METHOD 103B, CONDITION A 18 INCHES	METHOD 103B, CONDITION A 18 INCHES
LOOP RESISTANCE	18 INCHES	18 INCHES	18 INCHES

1. TEMPERATURE ERROR IS CALCULATED WITH RESPECT TO 25°C & EXPRESSES THE TYPICAL DEVIATION THAT WILL OCCUR AS TEMPERATURE IS RAISED OR LOWERED TO LIMITS INDICATED
2. MIL-STD-202F, METHOD 213B, 1/2 SINE, CONDITION D
3. MIL-STD-202F, METHOD 204C, CONDITION C, PARTS 1 & 2.



WIRE LEGEND			
MODEL #	PK180	PK181	PK182
OUTPUT	100 mV	1-3 Vol	4-20 mA
RED	+ERC	+ERC	-
BLACK	-ERC	COMMON	-
WHITE	+OUT	+OUT	N/A
GREEN	+OUT	N/A	N/A

177

PART NUMBER

REV.	DATE	DESCRIPTION
1		REVISED DRAWING
2		REVISED DRAWING

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES	SCALE	DATE
TOLERANCES ON	DRAWN BENNETT	11 16 91
0.001 IN. 0.001 IN. 0.001 IN.	APPROVED	
0.01 0.005 0.01	DESIGNED	
	CHECKED	
	INSTR.	
	TEST ASST	
	PARTS LIST	

OMEGA	
INDUSTRIAL PRESSURE TRANSDUCER	
INCHES 1:1	PART NO. BK796317
DO NOT SCALE DRAWING	

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 21 juin 1994

Capteur: **Oméga**
Modèle: **PX811-020AV**
Série: **609711**
Échelle: **0-20 psia**
Pente: **0,46 mV/V/psia**

Baromètre: **Princo**
Type: **U.S. signal corps**

Lecture capteur: **66,29 mV**
Alimentation: **10,004 V**

Pression atm. lue: **744,4 mmHg**
Température: **26,67 °C**
Correct. gravité: **+0,03 mmHg**
Correct. temp.: **-3,23 mmHg**
Pression atm. réelle: **741,2 mmHg = 14,33 psia**

Lecture attendue: **65,94 mV**
Offset: **+0,35 mV ou +3,4986E-02 mV/V**

Par: 
Jean-François Caron

Certificat d'étalonnage de sonde RTD

Date: 22 juin 1994
 Sonde: Oméga
 Modèle: PR-14-3-100-1/4-6-E

Thermomètres: Cole-Parmer
 Modèle: 08000 10
 Séries J 93-108 & J 93-117
 Échelle: 0,5 °C par division

Modèle: $T = A + B \cdot R$
 Décalage (A): -258,0796 °C
 Pente (B): 2,569434 °C/Ω
 Corrélation (r²): 0,9999146
 Linéarité: -0,445 +0,538 %

Lec. No.	Température °C	Lect. therm. °C	Lecture Ω	Temp. calc. °C	Déviaton %
1	0	-0,25	100,33	-0,29	-0,096
2	4	4,00	102,07	4,18	+0,456
3	8	8,00	103,52	7,91	-0,229
4	10	10,00	104,38	10,12	+0,295
5	12	12,00	105,09	11,94	-0,144
6	14	14,00	105,91	14,05	+0,123
7	16	16,00	106,60	15,82	-0,445
8	18	18,00	107,41	17,90	-0,242
9	20	20,25	108,32	20,24	-0,210
10	22	22,00	109,02	22,04	+0,100
11	24	24,25	109,85	24,17	-0,193
12	28	28,00	111,35	28,03	+0,067
13	32	32,00	112,98	32,22	+0,538
14	36	36,00	114,44	35,97	-0,084
15	40	40,00	115,99	39,95	-0,127

Par: 
 Jean-François Caron

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 16 juin 1994

Capteur: Oméga
 Modèle: PX180-100GV
 Série: 92648
 Echelle: 0-100 psig

Balance DH: 6152
 Echelle: 10000 Compres/kg
 Tête: 410 - 6153
 Piston/cylindre: 6154
 Kn: 1,999993 psi/kg
 RTD à 0°C: 100,00 ± 0,02 Ω
 Gravité locale: 9,80749 m/s²
 Pres. réf.: atmosphérique

Modèle: $p = A + B \cdot V$
 Décalage (A): 7,821048E-01 kPa
 Pente (B): 6,888501 kPa/V
 Corrélation (r²): 0,9999997
 Linéarité: -0,023
 +0,034 %

Lec.	Pression	Lecture	Compres	Ω	kPa	Pres. calc.	Déviaton
1	0	-0,08	0	112,75	0,000	0,231	+0,034
2	10	9,35	4723	112,75	65,126	65,190	+0,009
3	20	19,94	10021	112,75	138,180	138,139	-0,006
4	30	29,05	14577	112,75	201,003	200,893	-0,016
5	40	40,70	20400	112,75	281,297	281,144	-0,022
6	50	49,18	24631	112,75	339,639	339,559	-0,012
7	60	60,47	30274	112,75	417,450	417,330	-0,018
8	70	70,16	35111	112,75	484,148	484,079	-0,010
9	80	80,61	40320	112,75	555,975	556,064	+0,013
10	90	90,00	45010	112,75	620,646	620,747	+0,015
11	100	99,68	49840	112,75	687,247	687,428	+0,026
12	90	90,78	45398	112,75	625,996	626,120	+0,018
13	80	79,55	39796	112,75	548,750	548,762	+0,002
14	70	71,03	35540	112,75	490,063	490,072	+0,001

15	60	57,50	28829	112,60	397,526	397,437	-0,013
16	50	50,86	25514	112,60	351,815	351,724	-0,013
17	40	40,41	20296	112,60	279,864	279,781	-0,012
18	30	29,78	14988	112,60	206,671	206,599	-0,010
19	20	19,74	9967	112,65	137,436	137,478	+0,006
20	10	10,21	5203	112,65	71,745	71,869	+0,018
21	0	-0,19	0	112,65	0,000	0,271	+0,038

Par: 
Jean-François Caron

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 16 juin 1994

Capteur: Omega
 Modèle: PX180-100GV
 Série: 92648
 Echelle: 0-100 psig

Balance DH: 6152
 Echelle: 10000 Compres/kg
 Tête: 410 - 6153
 Piston/cylindre: 6154
 Kn: 1,999993 psi/kg
 RTD à 0°C: 100,00 ± 0,02 Ω
 Gravité locale: 9,80749 m/s²
 Pres. réf.: atmosphérique

Modèle: $p = A + B \cdot V$
 Décalage (A): 7,821048E-01 kPa
 Pente (B): 6,888501 kPa/V
 Corrélation (r²): 0,9999997
 Linéarité: -0,023
 +0,034 %

Lec. No.	Pression psi	V	Compres	Ω	kPa	Pres. calc. kPa	Déviati %
1	0	-0,08	0	112,75	0,000	0,231	+0,03
2	10	9,35	4723	112,75	65,126	65,190	+0,00
3	20	19,94	10021	112,75	138,180	138,139	-0,00
4	30	29,05	14577	112,75	201,003	200,893	-0,01
5	40	40,70	20400	112,75	281,297	281,144	-0,02
6	50	49,18	24631	112,75	339,639	339,559	-0,01
7	60	60,47	30274	112,75	417,450	417,330	-0,01
8	70	70,16	35111	112,75	484,148	484,079	-0,01
9	80	80,61	40320	112,75	555,975	556,064	+0,01
10	90	90,00	45010	112,75	620,646	620,747	+0,01
11	100	99,68	49840	112,75	687,247	687,428	+0,02
12	90	90,78	45398	112,75	625,996	626,120	+0,01
13	80	79,55	39796	112,75	548,750	548,762	+0,00
14	70	71,03	35540	112,75	490,063	490,072	+0,00

15	60	57,50	28829	112,60	397,526	397,437	-0,013
16	50	50,86	25514	112,60	351,815	351,724	-0,013
17	40	40,41	20296	112,60	279,864	279,781	-0,012
18	30	29,78	14988	112,60	206,671	206,599	-0,010
19	20	19,74	9967	112,65	137,436	137,478	+0,004
20	10	10,21	5203	112,65	71,745	71,869	+0,013
21	0	-0,19	0	112,65	0,000	0,271	+0,033

Par: 
Jean-François Caron

Model 499 DO Dissolved Oxygen Sensor

\$10.00 U.S. Dollars



SECTION 1.0 GENERAL DESCRIPTION AND SPECIFICATIONS

- **AMPEROMETRIC MEASUREMENT** assures excellent stability and high accuracy.
- **TEMPERATURE COMPENSATION** Integral PT100 RTD for accurate temperature compensation.
- **PRESSURE COMPENSATION** is mechanical rather than electronic correction to maintain proper tension on membrane.
- **RUGGED, SIMPLIFIED CONSTRUCTION** Molded KYNAR¹ and PVC for harsh industrial and municipal environments.
- **NO TOOLS** required to change membrane due to Screw-On Membrane Retainer.
- **2 MIL TEFLON² MEMBRANE** for many months of continuous operation.

1.1 FEATURES AND APPLICATIONS

The Model 499 Dissolved Oxygen Sensor, used with the Model 1054A Dissolved Oxygen Analyzer is designed for the continuous measurement of dissolved oxygen over the entire range of 0-20 ppm or 0-250% saturation in municipal wastewater, industrial wastewater, and activated sludge basin applications. Other typical applications include food processing plants, aeration lagoons, and pharmaceutical plants.

Constructed of highly durable molded KYNAR and PVC, the Model 499 is an amperometric type sensor consisting of a gold cathode, silver anode, potassium chloride electrolyte and a 2 mil TEFLON membrane. As oxygen diffuses through the membrane an electrochemical reaction takes place between the cathode and anode in the presence of the electrolyte. The resulting current flow is proportional to the amount of oxygen diffusing through the membrane. Temperature and pressure compensation are standard features to insure accurate dissolved oxygen readings.

The rugged design and tough 2 mil TEFLON membrane allows for many months of continuous operation even in harsh applications. When maintenance is required it is easily done without the need for special tools.

¹ KYNAR is a trademark of Pennwalt Inc.

² TEFLON is a registered trademark of E.I. du Pont de Nemours & Co.

1.2 SENSOR SPECIFICATIONS

Wetted Parts: KYNAR, PVC, TEFLON, EPDM

Dimensions: 25.4 X 146 mm (1 X 5.75 inches).

Cable: 25 ft (7.6 m) standard, spade lug terminated.

Process Connection: 1" MNPT.

Pressure/Temperature Rating: 0-65 psig (448.2 kPa) max,
0-50°C (32-122°F).

Weight/Shipping Weight: 0.45 kg/.68 kg (1 lb./ 1.5 lb.).

Minimum Sample Flow: 1 gpm (3.78 l/min.) in-line
1ft./sec. (30 cm/sec.) open channel.

Model 1054A DO Dissolved Oxygen Microprocessor Analyzer

\$10.00 U.S. Dollars



ROSEMOUNT
FISHER-ROSEMOUNT

SECTION 1.0 DESCRIPTION AND SPECIFICATIONS

1.1 GENERAL DESCRIPTION. The Model 1054A DO Microprocessor Analyzer, is designed to continuously measure and control dissolved oxygen, in industrial and municipal processes.

Housed in a NEMA 4X (IP65) weatherproof corrosion-resistant flame retardant enclosure, the Model 1054A is suitable for panel, pipe or wall mounting. All functions are accessed through the front panel membrane keyboard which features tactile feedback.

The 1054A transmits a user selected isolated current output continuously expandable over the measurement range in either Direct or Reverse and can be displayed in milliamps or percent. Output dampening is user selectable.

Dual programmable alarms are standard for either high or low operation. Alarm 2 may be programmed as a fault alarm. Both alarms feature independent setpoints, adjustable hysteresis and time delay action. The time delay is convenient when an alarm is used for corrective action. Time delay will ignore a temporary upset and prevent shutting down a process. An interval timer with relay is also provided.

Automatic or manual temperature compensation is keyboard selectable. The process temperature is accurately measured at the sensor and read on the display. For greater accuracy, the temperature indication may be standardized to the process temperature. The temperature may be configured to read in °C or °F.

1.2 PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Operating Range: 0-20 ppm (mg/l), 0-250 % saturation.
0-50°C

Repeatability: ±0.1% of range.

Accuracy: ±1% full scale.

Stability: Zero Drift: ±1% full scale/month.
Span Drift: ±1% full scale/month.

Response Time: 0-95% full scale in less than 15 seconds.

Ambient Temperature: -10 to 65°C (14 to 149°F).
-50 to 65°C (-50 to 149°F)
with optional heater, wall mount enclosure.

Relative Humidity: 0-95% humidity.

Temperature Compensation: 0-50°C.

Alarms: Dual, field selectable
High/Low, High/High, Low/Low
Third relay used for timer.

Current Output: Isolated, Direct or Reverse,
0-20 mA or 4-20 mA DC into 600
ohms maximum load.

1.3 PHYSICAL SPECIFICATIONS

DIN Enclosure: Black, ABS, NEMA 4X, IP65.
CSA enclosure 4.

DIN Dimensions: 144 X 144 X 192mm
(5.7 X 5.7 X 7.6 inches).

Wall Mount Enclosure: NEMA 4X, Thermoplastic.

Dimensions: 300 X 330 X 190mm
(11.75 X 13 X 7.5 inches).

Front Panel: Membrane keyboard with tactile feedback and user selectable security. Black and white on grey.

Electrical Classification:

Group I Panel Mount Enclosure:

FM Class I, Div. 2 Groups A thru D
28 VDC relays - 6.0 amps resistive only
150 mA - Groups A & B; 400 mA - Group C;
540 mA - Group D; Ci - 0; Li - 0

CSA Class I, Div. 2 Groups A thru D
28 VDC, 110 Vac & 230 Vac relays
6.0 Amps resistive only

Group II Wall Mount Enclosure: General Purpose

Power Requirements: 115 Vac, ±10%, 50/60 Hz
±6%, 4.0 W.
230 Vac, ±10%, 50/60 Hz
±6%, 4.0 W.

Digital Display: LCD, black on grey
Optional, red LED
Character Height: 18mm (0.7 inch).

Weight/Shipping Weight:

1054A DO: 1.1 kg/1.6 kg
(2.5 lbs./3.5 lbs.).

Wall Mount Enclosure: 4.5 kg/5.5 kg
(10 lbs./12 lbs.).

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 16 juin 1994

Capteur: SE
 Modèle: 85
 Série: 718
 Échelle: 0-15 psid

Balance DH: 6152
 Échelle: 10000 Comptes/kg
 Tête: 410 - 6153
 Piston/cylindre: 6154
 Kn: 1,999993 psi/kg
 RTD à 0 °C: 100,00 ± 0,02 Ω
 Gravité locale: 9,80749 m/s²
 Pres. réf.: atmosphérique

Modèle: $p = A + B \cdot V$
 Décalage (A): 4,960585E-02 kPa
 Pente (B): 6,263804E02 kPa/V
 Corrélation (r²): 0,9999556
 Linéarité: -0,285 +0,425 %

Lec. No.	Pression psi	Lecture V	Lecture de la balance DH			Pres. calc. kPa	Déviation %
			Comptes	Ω	kPa		
1	0	0,0000	0	110,65	0,000	0,050	+0,14
2	1	0,0119	547	110,65	7,543	7,504	-0,11
3	2	0,0220	1010	110,70	13,928	13,830	-0,28
4	3	0,0347	1587	110,70	21,884	21,785	-0,28
5	4	0,0468	2130	110,75	29,372	29,364	-0,02
6	5	0,0557	2523	110,80	34,791	34,939	+0,42
7	4	0,0450	2047	110,80	28,227	28,237	+0,02
8	3	0,0343	1564	110,85	21,567	21,534	-0,09
9	2	0,0231	1057	110,90	14,576	14,519	-0,16
10	1	0,0117	534	110,90	7,364	7,378	+0,04
11	0	0,0001	0	110,95	0,000	0,112	+0,32

Par: 
 Jean-François Caron

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 16 juin 1994

Capteur: SE
 Modèle: 85
 Série: 003
 Échelle: 0-5 psid

Balance DH: 6152
 Échelle: 10000 Comptes/kg
 Tête: 410 - 6153
 Piston/cylindre: 6154
 Kn: 1,999993 psi/kg
 RTD à 0 °C: 100,00 ± 0,02 Ω
 Gravité locale: 9,80749 m/s²
 Pres. réf.: atmosphérique

Modèle: $p = A + B \cdot V$
 Décalage (A): -1,783364-02 kPa
 Pente (B): 1,717043E02 kPa/V
 Corrélation (r²): 0,9999935
 Linéarité: -0,152 +0,126 %

Lec. No.	Pression psi	Lecture V	Lecture de la balance DH			Pres. calc. kPa	Déviation %
			Comptes	Ω	kPa		
1	0	0,0000	0	110,65	0,000	-0,018	-0,052
2	1	0,0439	547	110,65	7,543	7,520	-0,066
3	2	0,0811	1010	110,70	13,928	13,907	-0,060
4	3	0,1273	1587	110,70	21,884	21,840	-0,126
5	4	0,1713	2130	110,75	29,372	29,395	+0,066
6	5	0,2026	2523	110,80	34,791	34,769	-0,063
7	4	0,1647	2047	110,80	28,227	28,262	+0,101
8	3	0,1256	1564	110,85	21,567	21,548	-0,055
9	2	0,0853	1057	110,90	14,576	14,629	+0,152
10	1	0,0431	534	110,90	7,364	7,383	+0,055
11	0	0,0002	0	110,95	0,000	0,017	+0,049

Par: 
 Jean-François Caron

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 16 juin 1994

Capteur: SE
 Modèle: 85
 Série: 534
 Échelle: 0-5 psid

Balance DH: 6152
 Échelle: 10000 Comptes/kg
 Tête: 410 - 6153
 Piston/cylindre: 6154
 Kn: 1,999993 psi/kg
 RTD à 0 °C: 100,00 ± 0,02 Ω
 Gravité locale: 9,80749 m/s²
 Pres. réf.: atmosphérique

Modèle: $p = A + B \cdot V$
 Décalage (A): 4,090905E-02 kPa
 Pente (B): 7,547254E01 kPa/V
 Corrélation (r²): 0,9999782
 Linéarité: -0,305 +0,276 %

Lec. No.	Pression psi	Lecture V	Lecture de la balance DH			Pres. calc. kPa	Déviation %
			Comptes	Ω	kPa		
1	0	0,0000	0	110,65	0,000	0,041	+0,11
2	1	0,0990	547	110,65	7,543	7,513	-0,08
3	2	0,1826	1010	110,70	13,928	13,822	-0,30
4	3	0,2889	1587	110,70	21,884	21,845	-0,11
5	4	0,3883	2130	110,75	29,372	29,347	-0,07
6	5	0,4617	2523	110,80	34,791	34,887	+0,27
7	4	0,3735	2047	110,80	28,227	28,230	+0,08
8	3	0,2853	1564	110,85	21,567	21,573	+0,01
9	2	0,1923	1057	110,90	14,576	14,554	-0,06
10	1	0,0971	534	110,90	7,364	7,369	+0,01
11	0	0,0004	0	110,95	0,000	0,071	+0,20

Par: 
 Jean-François Caron

Certificat d'étalonnage de capteur de pression

Date: 16 juin 1994

Capteur: SE
 Modèle: 85
 Série: 1398
 Échelle: 0-5 psid

Balance DH: 6152
 Échelle: 10000 Comptes/kg
 Tête: 410 - 6153
 Piston/cylindre: 6154
 Kn: 1,999993 psi/kg
 RTD à 0 °C: 100,00 ± 0,02 Ω
 Gravité locale: 9,80749 m/s²
 Pres. réf.: atmosphérique

Modèle: $p = A + B \cdot V$
 Décalage (A): 2,214074E-02 kPa
 Pente (B): 1,424659E02 kPa/V
 Corrélation (r²): 0,9999961
 Linéarité: -0,126 +0,092 %

Lec. No.	Pression psi	Lecture V	Lecture de la balance DH			Pres. calc. kPa	Déviat %
			Comptes	Ω	kPa		
1	0	0,0000	0	110,65	0,000	0,022	+0,06
2	1	0,0526	547	110,65	7,543	7,516	-0,07
3	2	0,0973	1010	110,70	13,928	13,884	-0,12
4	3	0,1533	1587	110,70	21,884	21,862	-0,06
5	4	0,2061	2130	110,75	29,372	29,384	+0,03
6	5	0,2440	2523	110,80	34,791	34,784	-0,02
7	4	0,1982	2047	110,80	28,227	28,259	+0,09
8	3	0,1513	1564	110,85	21,567	21,577	+0,02
9	2	0,1022	1057	110,90	14,576	14,582	+0,01
10	1	0,0515	534	110,90	7,364	7,359	-0,01
11	0	0,0000	0	110,95	0,000	0,022	+0,06

Par: 
 Jean-François Caron

Hydrophone Type 8103

Serial No. **589622**



Narum Denmark

Reference Sensitivity at **25.0** Hz at **2.3** °C including 5 m integral cable

Cable Capacitance **98 pF/m** typical

Open Circuit Sensitivity:

Voltage Sensitivity:

-21.6 dB re 1V/ μ Pa

-9.6 dB re 1V per Pa or **9.3** μ V per Pa

-11.6 dB re 1V per μ bar

Charge Sensitivity: **29.6** pC per Pa

Capacitance (including 5 m cable) **3.7** nF

Frequency Response:

Individual Free Field Frequency Response Curve attached

Date **17-3-76** Signature *[Signature]*

Summarized Specifications

Usable Frequency Range: 0.1 Hz to 200 kHz (-10 dB)

Linear Frequency Range:

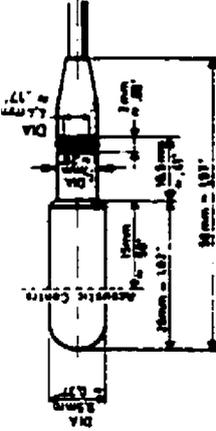
0.1 Hz to 20 kHz ± 1 dB

0.1 Hz to 140 kHz ± 2 dB

Horizontal Directivity 200 kHz: (XY plane) typical ± 2 dB

Vertical Directivity 100 kHz: (XZ plane) typical ± 4 dB

EC 0094



Leakage Resistance:

7.2 (Q.M. M) at **2.3** °C

Operating Temperature Range:

-40°C to +120°C

-60°F to +248°F

Change of Sensitivity with Temperature:

Change ≤ 0.03 dB/°C

Voltage ≤ -0.03 dB/°C

Change of Sensitivity with Static Pressure:

3 ± 10^{-7} dB/Pa (0.03 dB/atm)

Temperature Transient Sensitivity: < 50 Pa/°C

(ANSI S 2.1-1968; measured with B & K Charge

Preamplifier Type 2828, LIF 3 M)

Allowable Total Reflection Loss: 5×10^{-7} Rad

Acceleration Sensitivity: < 130 dB re 1 μ Pa/g

Maximum Operating Static Pressure:

40 atm

Cable:

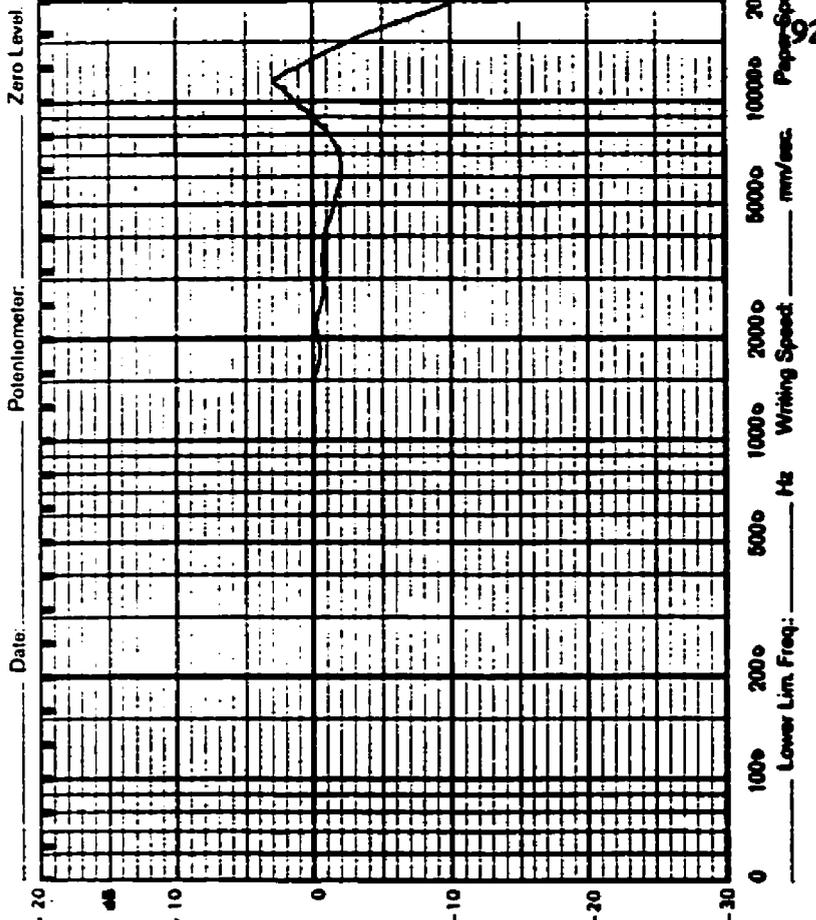
Double shielded low noise, low capacitance

Integral cable: 5 m with miniature plug

Weight (incl cable) 170 g

Traceable to NBS

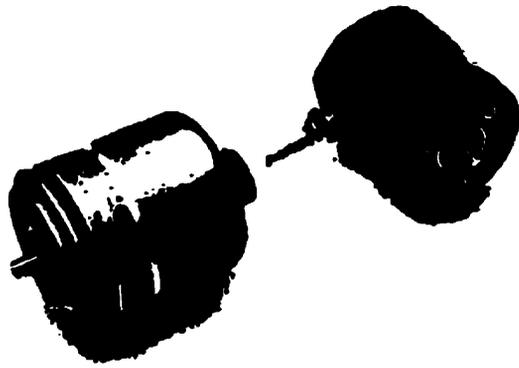
± 1 Pa/atm = 1 N/m² = 10 μ bar



Date: _____ Potentiometer: _____ Zero Level: _____

_____ mm/sec _____ Writing Speed _____

_____ Hz _____



- Free choice of any resolution up to 5000 ppr
- Supply voltage 5 or 12 to 24 V
- Complementary signals
- Dust- and splash proof: IP 65

ELECTRICAL SPECIFICATION

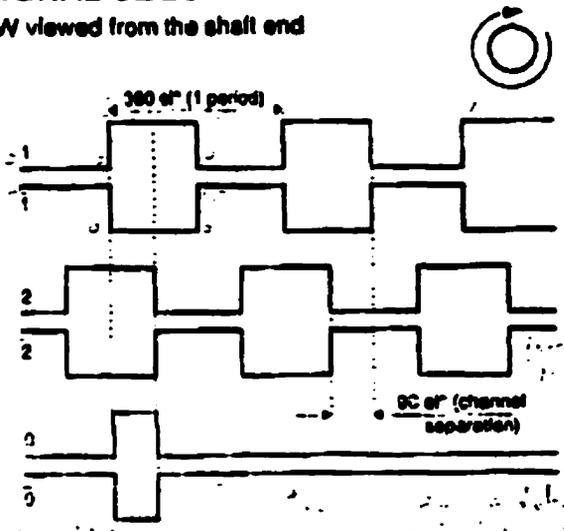
Nominal supply voltage	5V	12 to 24 V
Permissible variation	+5%	11.5 - 30 V
Current consumption at no load typ (max.)	130 (180) mA	60 (70) mA
Max. load Sink	40 mA	40 mA
Max. load Source	40 mA	40 mA
Output circuit	Line driver SN 75114	BC846 BCX71J
Output level at max. load U_{low}	$\leq 0.45 V$	See figure for OUTPUT LEVEL
U_{high}	$\geq 2.0 V$	
Max. frequency min.	200 kHz	100 kHz
Optoelectronics	Light emitting diodes and photodiodes	
Temperature range	Operating 0°C to +60°C Storage -25°C to +70°C	
Output signals	1, 1̄, 2, 2̄, 0, 0̄	
Cable length	1.5 m shielded (2x 0.34 mm ² + 6x 0.22mm ²)	
Case-mounted connector	KPT 02E - 12 - 8P	
Suitable mating connector	KPT 06E - 12 - 8S	

ACCURACY at 20°C

Max dividing error = ± 50 electrical degrees
Channel separation = 90 ± 25 electrical degrees.

SIGNAL SEQUENCE

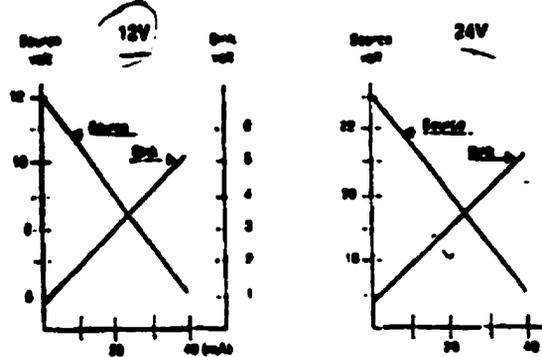
CW viewed from the shaft end



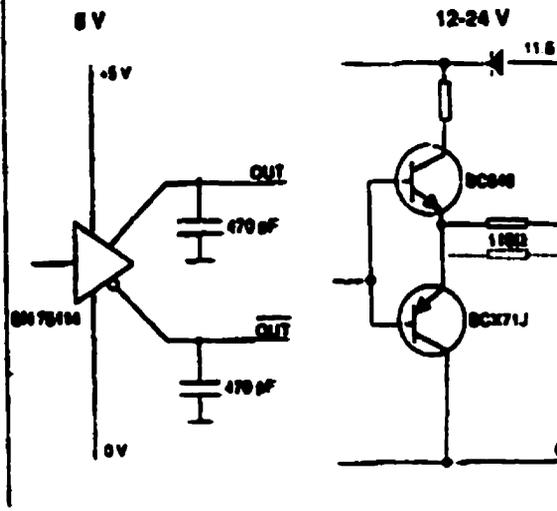
CONNECTIONS AND COLOUR CODE

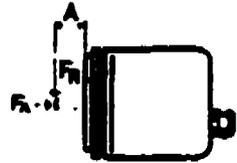
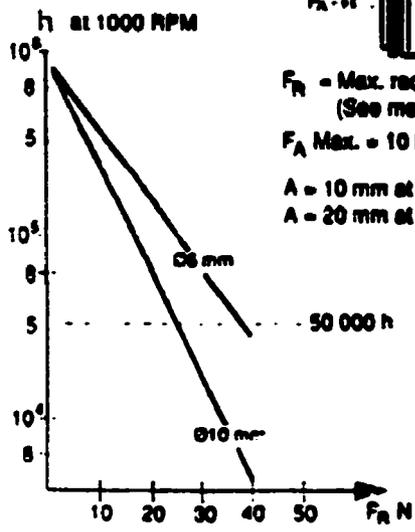
Function	Pin	Colour
Signal 1	A	Green
Signal 1̄	B	White
Signal 2	C	Black
Signal 2̄	D	Yellow
+E Volt	E	Red
0 Volt	F	Blue
Signal 0	G	Brown
Signal 0̄	H	Violet

OUTPUT LEVEL



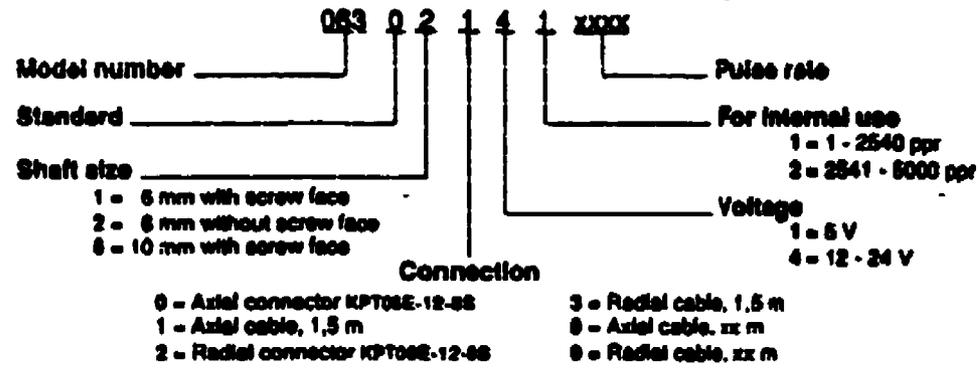
OUTPUT CIRCUIT



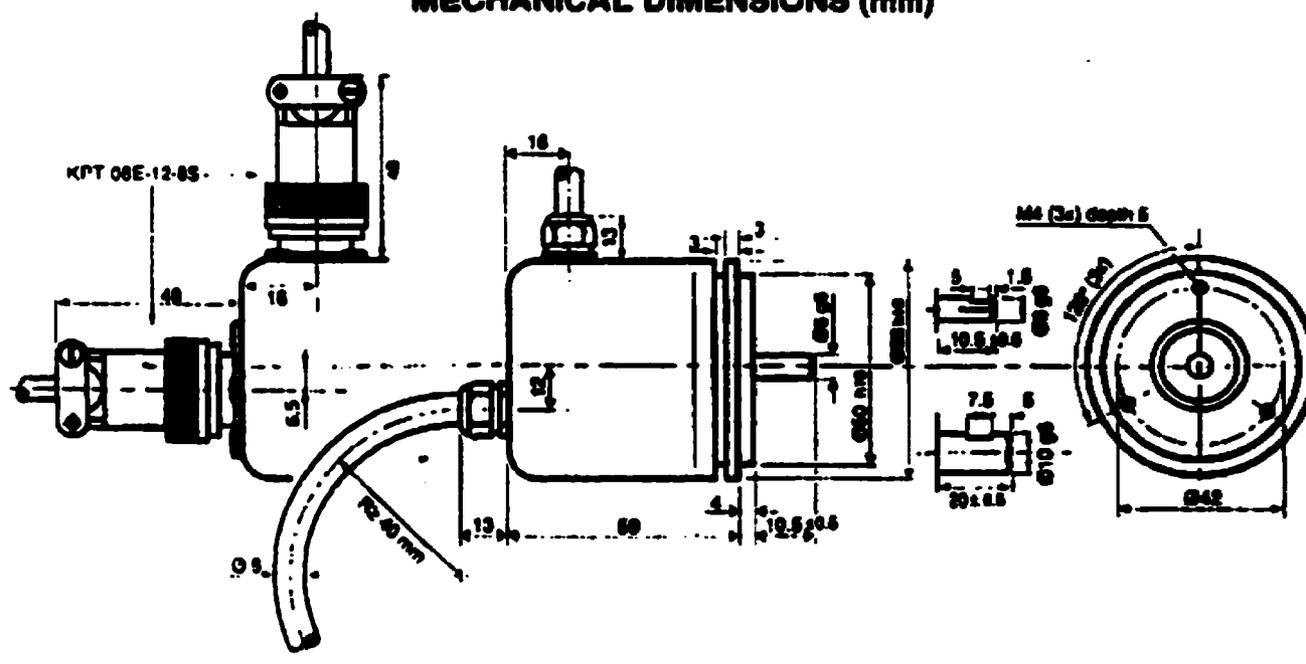


Casing	Anodized aluminium.
Shaft	Stainless steel.
Bearings	Permanently lubricated stainless steel precision bearings.
Code disc	Unbreakable plastic with photographically generated pattern.
Sealing	Dust and splash proof, encapsulation class: IP65.
Shaft types	Ø6 mm without screw face. Ø6 mm with screw face Ø10 mm with screw face
Moment of inertia	
Ø6 mm	$1.5 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$
Ø10 mm	$1.9 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$
Max. rpm	12000 rpm.
mechanical	
electrical	<u>Max. frequency</u> $\cdot 60 = \text{max. rpm}$ Pulse rate
Max. radial shaft load	
≤ 1000 ppr	40 N
1001 - 3000 ppr	20 N
3001 - 6000 ppr	10 N

ORDERING INFORMATION



MECHANICAL DIMENSIONS (mm)



ANNEXE B

Résultats : Essais de stabilité d'opération

La présente annexe contient les résultats des différentes séries d'essai de stabilité d'opération de la boucle d'essai. Ces essais ont été effectués sans modèle de turbine dans la section d'essai. Ils ont eu lieu en juillet 94. Les numéros d'essai manquants sont des données qui ont été retanchées car elles ont été effectuées en dehors des points d'opérations retenues pour notre protocole d'essai.

Sortie des resultats**Essai # 1****date : 07-05-1994****heure : 18:45:03****Temperature ambiante : 26.67 C****Pression ambiante : 99.88 kPa****Temperature a la pompe : 36.68 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.34 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 58.64 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : -0.51118 kPa****Pression_amont_cuve : -31.513943 kPa****Pression_avale_cuve : -28.482764 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 13.21983 kPa****Variance : 2.38535****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

12.97164 , 12.055345 , 11.550055 , 11.857838 , 13.584149
 14.891228 , 14.405688 , 13.285772 , 15.713001 , 15.778132
 13.685255 , 12.814575 , 12.315162 , 12.619418 , 11.387111
 10.145633 , 10.52419 , 11.017019 , 11.696069 , 13.50303
 12.886759 , 11.966467 , 13.303171 , 15.235691 , 15.375122
 14.866539 , 14.729459 , 15.112248 , 13.380764 , 13.938253

Pression amont : -19.75919 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.68165 m3/s****Variance : 2.95936e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.681956 , 0.682788 , 0.681853 , 0.682602 , 0.681953
 0.682348 , 0.682053 , 0.682064 , 0.682153 , 0.681753
 0.682258 , 0.681448 , 0.682277 , 0.681313 , 0.682075
 0.681377 , 0.68178 , 0.681459 , 0.681442 , 0.681531
 0.681129 , 0.681615 , 0.680834 , 0.681645 , 0.680694
 0.681464 , 0.680753 , 0.681202 , 0.680851 , 0.680907

Sortie des resultats**Essai # 2****date : 07-05-1994****heure : 18:46:50****Temperature ambiante : 26.71 C****Pression ambiante : 99.69 kPa****Temperature a la pompe : 36.67 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.54 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 58.67 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 1.55273 kPa****Pression_amont_cuve : -29.612717 kPa****Pression_avale_cuve : -28.645445 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 13.48846 kPa****Variance : 3.28693****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

7.789883 , 11.310694 , 13.898281 , 11.802818 , 14.03395
 15.407334 , 14.836208 , 13.066867 , 11.189133 , 11.622004
 11.917795 , 12.281774 , 12.196893 , 13.706886 , 15.286949
 15.175968 , 16.440018 , 15.674205 , 14.144695 , 13.070159
 14.64787 , 13.682433 , 11.150572 , 13.433432 , 13.226049
 13.522781 , 15.396048 , 15.714882 , 14.832446 , 14.194778

Pression amont : -19.75919 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.68307 m3/s****Variance : 1.03266e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.682948 , 0.683047 , 0.683104 , 0.682815 , 0.683285
 0.682645 , 0.683445 , 0.682553 , 0.68345 , 0.682753
 0.683337 , 0.682977 , 0.683199 , 0.683242 , 0.68305
 0.683469 , 0.682872 , 0.683666 , 0.682766 , 0.683631
 0.68285 , 0.683439 , 0.682999 , 0.68318 , 0.683118
 0.682915 , 0.683226 , 0.682594 , 0.68328 , 0.682345

Sortie des resultats**Essai # 1****date : 07-05-1994****heure : 19:00:25****Temperature ambiante : 26.81 C****Pression ambiante : 99.97 kPa****Temperature a la pompe : 38.45 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.25 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 64.7 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.51569 kPa****Pression_amont_cuve : -31.336909 kPa****Pression_avale_cuve : -28.30122 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 36.40837 kPa****Variance : 2.54729****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

38.475537 , 39.414169 , 38.569118 , 35.995403 , 37.380544
 36.052069 , 35.180213 , 34.839513 , 35.254749 , 36.051364
 35.700317 , 35.933565 , 35.171984 , 36.578521 , 33.919456
 34.692793 , 34.461191 , 35.733 , 38.141654 , 39.365732
 38.950261 , 36.35656 , 36.715836 , 33.859733 , 36.067353
 34.502809 , 35.936621 , 36.341982 , 38.560888 , 38.048308

Pression amont : 8.13967 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.62861 m3/s****Variance : 1.84633e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.629577 , 0.62872 , 0.629317 , 0.628807 , 0.629039
 0.628936 , 0.628766 , 0.629061 , 0.628496 , 0.629188
 0.628261 , 0.629193 , 0.628318 , 0.628971 , 0.628445
 0.628707 , 0.628555 , 0.628439 , 0.628677 , 0.628177
 0.628801 , 0.627915 , 0.628807 , 0.627882 , 0.628569
 0.627996 , 0.628304 , 0.628126 , 0.628028 , 0.628269

Sortie des resultats**Essai # 2**

date : 07-05-1994

heure : 19:00:51

Temperature ambiante : 26.79 C

Pression ambiante : 100.0 kPa

Temperature a la pompe : 38.57 C

Vitesse de rotation de la pompe : 701.28 tours/mn.

Puissance fournie par la pompe : 64.7 kW.

Ouverture de la vanne : 60.0 %

Pression differentielle : -1.37452 kPa

Pression_amont_cuve : -32.263206 kPa

Pression_avale_cuve : -28.368688 kPa

(Hauteur statique : 2.52 kPa)

Pression a la pompe : 37.8582 kPa

Variance : 4.12297

Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :

39.286964 , 38.598038 , 40.064769 , 38.818824 , 38.684566
 38.758866 , 37.996815 , 38.900413 , 39.761218 , 39.119318
 39.070411 , 36.405232 , 38.001518 , 37.082872 , 36.89618
 34.717716 , 36.584635 , 36.396062 , 38.071116 , 41.673987
 40.741468 , 41.305071 , 37.888656 , 38.094629 , 34.333987
 33.404289 , 33.702197 , 37.305303 , 38.20608 , 35.874782

Pression amont : 8.11967 kPa

Variance : 0.0

Debit : 0.63004 m3/s

Variance : 1.61303e-007

Tableau des valeurs du debit echantillonne :

0.630077 , 0.629344 , 0.629877 , 0.629523 , 0.629663
 0.629747 , 0.629515 , 0.629993 , 0.629385 , 0.630274
 0.629353 , 0.630306 , 0.629607 , 0.630223 , 0.629893
 0.630112 , 0.630196 , 0.629977 , 0.630452 , 0.629871
 0.63069 , 0.629771 , 0.630736 , 0.629985 , 0.630596
 0.630204 , 0.630417 , 0.630436 , 0.630247 , 0.630666

Sortie des resultats**Essai # 3****date : 07-05-1994****heure : 19:04:54****Temperature ambiante : 26.78 C****Pression ambiante : 99.78 kPa****Temperature a la pompe : 38.59 C****Vitesse de rotation de la pompe : 935.67 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 133.11 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 0.5046 kPa****Pression_amont_cuve : -30.973403 kPa****Pression_avale_cuve : -28.958 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 34.46889 kPa****Variance : 6.95379****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

32.842098 , 30.494577 , 32.655641 , 31.676802 , 32.850092
 36.555949 , 35.013978 , 35.193381 , 34.215717 , 36.145415
 35.709958 , 38.664345 , 40.342455 , 36.645298 , 33.119079
 35.891241 , 32.69961 , 34.216187 , 37.291901 , 36.31941
 33.806594 , 32.717245 , 32.677743 , 29.895 , 31.485878
 29.292836 , 37.755103 , 34.243697 , 35.04572 , 38.603682

Pression amont : -20.06918 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.8974 m3/s****Variance : 3.7744e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.897049 , 0.897376 , 0.896784 , 0.897406 , 0.896644
 0.897344 , 0.896633 , 0.8972 , 0.896771 , 0.89699
 0.896946 , 0.89683 , 0.897173 , 0.896692 , 0.897384
 0.896706 , 0.897492 , 0.896873 , 0.897549 , 0.897222
 0.897573 , 0.897638 , 0.897603 , 0.89806 , 0.89769
 0.898489 , 0.897903 , 0.898781 , 0.898198 , 0.898987

Sortie des resultats**Essai # 4****date : 07-05-1994****heure : 19:05:23****Temperature ambiante : 26.79 C****Pression ambiante : 99.99 kPa****Temperature a la pompe : 38.71 C****Vitesse de rotation de la pompe : 935.31 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 133.12 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : -0.16911 kPa****Pression_amont_cuve : -32.027688 kPa****Pression_avale_cuve : -29.338575 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 34.40564 kPa****Variance : 12.86843****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

31.256628 , 30.315644 , 28.508683 , 29.204898 , 26.651875
 29.43697 , 29.293541 , 32.591686 , 34.206782 , 38.225595
 36.607677 , 38.827289 , 37.270974 , 35.198083 , 34.900881
 36.147766 , 36.738879 , 36.015389 , 34.299188 , 32.44238
 30.923686 , 34.491288 , 33.630953 , 36.991877 , 34.502103
 36.506807 , 39.283908 , 38.918753 , 40.533144 , 38.245816

Pression amont : -20.06918 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.89803 m3/s****Variance : 0.0****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.900449 , 0.899711 , 0.900235 , 0.89936 , 0.899932
 0.899051 , 0.899468 , 0.898906 , 0.898941 , 0.89877
 0.898395 , 0.898619 , 0.897862 , 0.898408 , 0.897514
 0.898089 , 0.897257 , 0.897725 , 0.897187 , 0.897303
 0.897146 , 0.896849 , 0.897157 , 0.896487 , 0.89713
 0.896341 , 0.897044 , 0.896276 , 0.896868 , 0.896403

Sortie des resultats**Essai # 5****date : 07-05-1994****heure : 19:07:35****Temperature ambiante : 26.87 C****Pression ambiante : 99.82 kPa****Temperature a la pompe : 38.97 C****Vitesse de rotation de la pompe : 935.01 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 146.31 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -1.12158 kPa****Pression_amont_cuve : -31.905417 kPa****Pression_avale_cuve : -28.263838 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 71.33727 kPa****Variance : 5.42319****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

73.66954 , 71.507771 , 75.406198 , 74.668365 , 73.451341
 71.22256 , 69.273111 , 72.903257 , 72.411134 , 71.394439
 70.201633 , 68.871277 , 66.885619 , 66.485901 , 71.043157
 70.628391 , 69.832952 , 71.055854 , 69.476733 , 68.590769
 68.850116 , 69.982258 , 71.676828 , 75.494136 , 75.458161
 74.213392 , 72.200929 , 70.423829 , 71.805678 , 71.032812

Pression amont : 23.18905 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.8362 m3/s****Variance : 2.24983e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.837436 , 0.836569 , 0.837266 , 0.836452 , 0.836925
 0.836447 , 0.836579 , 0.836469 , 0.836215 , 0.836539
 0.835917 , 0.836552 , 0.835717 , 0.836471 , 0.835698
 0.836285 , 0.83579 , 0.836015 , 0.835939 , 0.835815
 0.836098 , 0.835563 , 0.83625 , 0.835466 , 0.836277
 0.835523 , 0.836196 , 0.835707 , 0.836004 , 0.835923

Sortie des resultats**Essai # 6****date : 07-05-1994****heure : 19:08:11****Temperature ambiante : 26.86 C****Pression ambiante : 99.69 kPa****Temperature a la pompe : 39.09 C****Vitesse de rotation de la pompe : 936.05 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 147.12 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.74648 kPa****Pression_amont_cuve : -29.966028 kPa****Pression_avale_cuve : -26.699545 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 72.27825 kPa****Variance : 17.79657****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

66.788511 , 65.792977 , 65.285806 , 65.231491 , 65.048326
 66.068783 , 70.416305 , 68.573134 , 70.888443 , 74.592654
 73.328369 , 70.018233 , 68.153195 , 72.397731 , 75.328606
 74.270999 , 71.724794 , 71.284164 , 75.523762 , 77.396089
 75.517649 , 73.320375 , 75.680593 , 76.774174 , 74.614756
 79.48779 , 78.210808 , 73.659195 , 76.470153 , 76.49978

Pression amont : 22.91906 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.83842 m3/s****Variance : 0.0****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.83696 , 0.836463 , 0.836969 , 0.836923 , 0.837039
 0.837366 , 0.837104 , 0.837809 , 0.837225 , 0.838131
 0.83749 , 0.838382 , 0.837901 , 0.838471 , 0.838376
 0.838555 , 0.838844 , 0.838601 , 0.839268 , 0.838682
 0.839555 , 0.838879 , 0.839709 , 0.839184 , 0.839733
 0.839544 , 0.839687 , 0.839884 , 0.839625 , 0.84023

Sortie des resultats**Essai # 7**

date : 07-05-1994

heure : 19:11:23

Temperature ambiante : 26.89 C

Pression ambiante : 99.85 kPa

Temperature a la pompe : 39.22 C

Vitesse de rotation de la pompe : 1161.88 tours/mn.

Puissance fournie par la pompe : 260.13 kW.

Ouverture de la vanne : 100.0 %

Pression differentielle : -0.27548 kPa

Pression_amont_cuve : -31.434726 kPa

Pression_avale_cuve : -28.639249 kPa

(Hauteur statique : 2.52 kPa)

Pression a la pompe : 59.91322 kPa

Variance : 26.04061

Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :

54.061721 , 55.458383 , 56.442866 , 61.71162 , 64.409012
 65.502359 , 66.348586 , 66.065256 , 68.660132 , 70.780989
 64.854816 , 60.164711 , 59.295207 , 64.907014 , 68.453689
 61.123565 , 58.487306 , 53.263461 , 54.948625 , 57.903247
 57.54985 , 53.657065 , 55.87456 , 54.310252 , 57.717026
 57.002941 , 60.479783 , 58.43934 , 58.373034 , 51.150128

Pression amont : -21.09913 kPa

Variance : 0.0

Debit : 1.10557 m3/s

Variance : 1.78774e-007

Tableau des valeurs du debit echantillonne :

1.106478 , 1.105962 , 1.106308 , 1.106065 , 1.106041
 1.106146 , 1.105784 , 1.10617 , 1.105619 , 1.106032
 1.105481 , 1.105908 , 1.105357 , 1.105708 , 1.105403
 1.105397 , 1.105465 , 1.105089 , 1.105492 , 1.104973
 1.105468 , 1.104925 , 1.105427 , 1.104911 , 1.10536
 1.105103 , 1.105208 , 1.10533 , 1.105087 , 1.105506

Sortie des resultats**Essai # 8****date : 07-05-1994****heure : 19:12:50****Temperature ambiante : 26.99 C****Pression ambiante : 99.83 kPa****Temperature a la pompe : 39.64 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1161.81 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 263.84 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : -0.28514 kPa****Pression_amont_cuve : -31.472612 kPa****Pression_avale_cuve : -28.667475 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 55.38451 kPa****Variance : 22.46481****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

59.141903 , 58.48519 , 61.558082 , 57.124267 , 57.658244
 54.494828 , 50.418173 , 48.071828 , 44.690448 , 44.41958
 51.925581 , 53.705737 , 58.354694 , 62.066429 , 63.037274
 54.530097 , 53.834587 , 52.353984 , 54.19645 , 52.747354
 51.608863 , 58.950979 , 54.670704 , 56.391608 , 54.420997
 55.009994 , 57.481192 , 55.374443 , 60.134615 , 64.677059

Pression amont : -21.15913 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.10969 m3/s****Variance : 7.18194e-008****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.109508 , 1.109343 , 1.109756 , 1.109318 , 1.109875
 1.1094 , 1.109951 , 1.10947 , 1.109978 , 1.10964
 1.109854 , 1.109881 , 1.109702 , 1.110081 , 1.109608
 1.110105 , 1.109602 , 1.110108 , 1.109594 , 1.110072
 1.109651 , 1.109835 , 1.109759 , 1.109581 , 1.109864
 1.109343 , 1.109789 , 1.109224 , 1.109659 , 1.109067

Sortie des resultats**Essai # 9****date : 07-05-1994****heure : 19:14:54****Temperature ambiante : 27.04 C****Pression ambiante : 99.89 kPa****Temperature a la pompe : 40.31 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1159.79 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 285.31 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.30442 kPa****Pression_amont_cuve : -31.478123 kPa****Pression_avale_cuve : -28.653706 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 110.575 kPa****Variance : 15.27288****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

113.868955 , 116.995456 , 108.892935 , 108.348143 , 114.00674
 112.234108 , 108.883765 , 110.816285 , 109.014026 , 109.058936
 107.078685 , 111.725526 , 112.169683 , 109.05682 , 105.007675
 107.565636 , 106.899988 , 104.432786 , 101.861894 , 104.50356
 108.417035 , 113.659691 , 113.1718 , 112.184731 , 116.787368
 117.812997 , 111.675208 , 114.580924 , 115.195079 , 111.343442

Pression amont : 35.54854 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.03322 m3/s****Variance : 8.08938e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.031092 , 1.031773 , 1.031386 , 1.032149 , 1.031749
 1.032513 , 1.032173 , 1.032759 , 1.032697 , 1.032908
 1.033192 , 1.033016 , 1.033627 , 1.033192 , 1.033881
 1.033386 , 1.034056 , 1.033586 , 1.034051 , 1.033913
 1.033946 , 1.034127 , 1.033794 , 1.034302 , 1.033705
 1.034267 , 1.033629 , 1.034213 , 1.033619 , 1.034008

Sortie des resultats**Essai # 10****date : 07-05-1994****heure : 19:15:27****Temperature ambiante : 27.05 C****Pression ambiante : 99.91 kPa****Temperature a la pompe : 40.7 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1160.66 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 285.1 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.31061 kPa****Pression_ amont _cuve : -31.470546 kPa****Pression_ avale _cuve : -28.639937 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 106.99129 kPa****Variance : 14.69049****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

108.61854 , 106.734692 , 107.182377 , 108.954304 , 108.787833
 107.871068 , 105.954537 , 100.641813 , 98.205413 , 102.232926
 102.501913 , 101.410447 , 102.382233 , 102.756557 , 104.586325
 107.731401 , 109.843794 , 107.041065 , 108.063873 , 108.572455
 106.100787 , 108.63688 , 110.530839 , 107.154867 , 109.856961
 111.80641 , 106.617363 , 110.616896 , 117.037544 , 111.306527

Pression amont : 38.06844 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.03373 m3/s****Variance : 1.26541e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.034254 , 1.034345 , 1.034302 , 1.034032 , 1.034356
 1.033748 , 1.034264 , 1.033589 , 1.034178 , 1.033513
 1.034032 , 1.033592 , 1.033765 , 1.033716 , 1.033516
 1.033835 , 1.033294 , 1.033862 , 1.033235 , 1.033819
 1.033208 , 1.033719 , 1.033313 , 1.033513 , 1.03351
 1.033335 , 1.033716 , 1.033224 , 1.033821 , 1.033297

Sortie des resultats**Essai # 4****date : 07-07-1994****heure : 15:09:07****Temperature ambiante : 27.16 C****Pression ambiante : 1360.91 kPa****Temperature a la pompe : 35.83 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.53 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 58.38 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : -2.08845 kPa****Pression_amont_cuve : -30.507533 kPa****Pression_avale_cuve : -25.899086 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 12.91696 kPa****Variance : 5.61953****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

9.851958 , 15.881823 , 15.475286 , 16.161861 , 16.579449
 13.989746 , 12.425672 , 11.704534 , 11.334677 , 11.275895
 12.350196 , 11.36689 , 11.499502 , 11.918265 , 12.107779
 10.515725 , 11.335147 , 12.109425 , 11.231221 , 10.291648
 9.135757 , 10.880174 , 9.797643 , 13.674674 , 13.397458
 16.911215 , 14.884879 , 16.676087 , 16.381941 , 16.36219

Pression amont : -17.37911 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.68177 m3/s****Variance : 1.3524e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.682223 , 0.681902 , 0.682342 , 0.681645 , 0.682439
 0.681486 , 0.682307 , 0.681567 , 0.682037 , 0.681667
 0.681753 , 0.681772 , 0.681475 , 0.681883 , 0.681213
 0.681985 , 0.681064 , 0.681913 , 0.681194 , 0.68174
 0.681404 , 0.681583 , 0.68168 , 0.681475 , 0.681961
 0.681388 , 0.682288 , 0.681437 , 0.682415 , 0.681764

Sortie des resultats**Essai # 5****date : 07-07-1994****heure : 15:09:43****Temperature ambiante : 27.28 C****Pression ambiante : 1389.58 kPa****Temperature a la pompe : 35.97 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.51 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 57.95 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 1.40271 kPa****Pression_amont_cuve : -29.731406 kPa****Pression_avale_cuve : -28.61412 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 11.15942 kPa****Variance : 1.68819****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

12.627177 , 15.046177 , 10.632349 , 11.48704 , 10.26743
 9.858071 , 9.811046 , 10.876647 , 10.629998 , 11.518077
 11.652571 , 10.937075 , 13.637524 , 12.640109 , 10.701947
 9.919675 , 11.360306 , 11.928376 , 11.763551 , 10.509377
 9.61683 , 10.567453 , 10.93637 , 12.408273 , 12.441661
 11.412034 , 9.921791 , 11.307167 , 9.890519 , 8.475987

Pression amont : -17.40911 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.67728 m3/s****Variance : 1.11365e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.677678 , 0.676746 , 0.677664 , 0.676886 , 0.677497
 0.67707 , 0.677289 , 0.677265 , 0.677073 , 0.677462
 0.676878 , 0.6776 , 0.676724 , 0.677616 , 0.676813
 0.677446 , 0.676989 , 0.677267 , 0.6772 , 0.677075
 0.677435 , 0.676927 , 0.677673 , 0.676829 , 0.6778
 0.677051 , 0.67774 , 0.67734 , 0.677673 , 0.677686

Sortie des resultats**Essai # 6****date : 07-07-1994****heure : 15:14:51****Temperature ambiante : 27.3 C****Pression ambiante : 1362.98 kPa****Temperature a la pompe : 36.57 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.85 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 64.7 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.42129 kPa****Pression_amont_cuve : -30.488245 kPa****Pression_avale_cuve : -27.546956 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 33.94013 kPa****Variance : 4.15912****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

32.27826 , 31.793896 , 29.523497 , 29.600384 , 28.277552
 31.752513 , 33.56159 , 34.225828 , 34.615435 , 35.39465
 34.258511 , 35.262508 , 35.098859 , 34.781201 , 34.717011
 35.003397 , 35.413931 , 35.812944 , 35.596391 , 34.458134
 33.509627 , 32.789664 , 32.576873 , 34.306242 , 34.397236
 35.373489 , 36.087338 , 34.591687 , 36.107324 , 37.037962

Pression amont : 6.34968 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.63349 m3/s****Variance : 2.67586e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.633355 , 0.632852 , 0.633495 , 0.63266 , 0.633587
 0.632709 , 0.63343 , 0.632917 , 0.633241 , 0.633155
 0.633082 , 0.633365 , 0.632938 , 0.633622 , 0.632828
 0.633809 , 0.632987 , 0.633757 , 0.633263 , 0.63369
 0.633587 , 0.633647 , 0.633944 , 0.633617 , 0.634309
 0.633606 , 0.634638 , 0.633825 , 0.634684 , 0.634219

Sortie des resultats**Essai # 7**

date : 07-07-1994

heure : 15:16:04

Temperature ambiante : 27.41 C

Pression ambiante : 1357.66 kPa

Temperature a la pompe : 36.76 C

Vitesse de rotation de la pompe : 701.71 tours/mn.

Puissance fournie par la pompe : 64.71 kW.

Ouverture de la vanne : 60.0 %

Pression differentielle : 0.05357 kPa

Pression_amont_cuve : -30.078449 kPa

Pression_avale_cuve : -27.612015 kPa

(Hauteur statique : 2.52 kPa)

Pression a la pompe : 34.26497 kPa

Variance : 2.96927

Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :

34.813884 , 35.502809 , 34.929802 , 34.400293 , 31.830576
 32.743109 , 31.973769 , 34.325757 , 34.456959 , 34.903938
 34.292369 , 36.152469 , 36.459076 , 35.578521 , 35.728298
 35.690442 , 34.826345 , 35.629779 , 34.951199 , 32.921101
 32.434385 , 29.488228 , 30.925567 , 31.6373 , 33.569585
 35.073935 , 35.137655 , 36.252163 , 35.388067 , 35.931684

Pression amont : 6.45967 kPa

Variance : 0.0

Debit : 0.63386 m3/s

Variance : 6.87831e-007

Tableau des valeurs du debit echantillonne :

0.635395 , 0.63459 , 0.635422 , 0.634438 , 0.635157
 0.634449 , 0.63483 , 0.634511 , 0.63446 , 0.634519
 0.634055 , 0.634506 , 0.633674 , 0.634438 , 0.63342
 0.634122 , 0.633395 , 0.633725 , 0.633387 , 0.633328
 0.633398 , 0.632974 , 0.633428 , 0.632628 , 0.63346
 0.632466 , 0.633238 , 0.632555 , 0.63302 , 0.632698

Sortie des resultats**Essai # 8**

date : 07-07-1994

heure : 15:20:11

Temperature ambiante : 27.44 C

Pression ambiante : 1325.04 kPa

Temperature a la pompe : 36.63 C

Vitesse de rotation de la pompe : 935.69 tours/mn.

Puissance fournie par la pompe : 133.12 kW.

Ouverture de la vanne : 100.0 %

Pression differentielle : 0.50034 kPa

Pression_amont_cuve : -29.65577 kPa

Pression_avale_cuve : -27.63611 kPa

(Hauteur statique : 2.52 kPa)

Pression a la pompe : 29.45399 kPa

Variance : 6.75964

Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :

31.387594 , 32.624134 , 28.215713 , 28.083101 , 27.839978
 25.537602 , 25.796478 , 31.703606 , 31.953548 , 34.620843
 32.020795 , 30.203253 , 28.329986 , 31.026202 , 31.127307
 27.811528 , 26.457189 , 26.906049 , 23.267908 , 25.500687
 29.23664 , 32.721007 , 31.328107 , 30.194788 , 27.767324
 28.980821 , 32.635185 , 29.323168 , 30.12566 , 30.893354

Pression amont : -18.05908 kPa

Variance : 0.0

Debit : 0.89577 m3/s

Variance : 1.67592e-007

Tableau des valeurs du debit echantillonne :

0.896233 , 0.896714 , 0.896236 , 0.896373 , 0.896295
 0.896028 , 0.896333 , 0.895687 , 0.896284 , 0.89549
 0.896163 , 0.895403 , 0.895963 , 0.895482 , 0.89566
 0.895617 , 0.895436 , 0.895741 , 0.895201 , 0.895841
 0.89512 , 0.895847 , 0.895112 , 0.895747 , 0.895314
 0.895593 , 0.895541 , 0.895466 , 0.895801 , 0.895325

Sortie des resultats**Essai # 9****date : 07-07-1994****heure : 15:21:31****Temperature ambiante : 27.35 C****Pression ambiante : 1367.11 kPa****Temperature a la pompe : 37.51 C****Vitesse de rotation de la pompe : 936.06 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 133.11 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 1.12123 kPa****Pression_amont_cuve : -28.862421 kPa****Pression_avale_cuve : -27.463654 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 33.78462 kPa****Variance : 5.66682****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

33.008569 , 31.961542 , 30.969301 , 29.492225 , 34.424276
 33.883716 , 35.404291 , 35.701728 , 35.997519 , 36.903704
 33.502573 , 34.349975 , 32.046424 , 31.355852 , 30.671158
 35.375605 , 38.535259 , 37.73065 , 36.757924 , 35.034904
 32.55242 , 33.14024 , 32.409226 , 35.461662 , 31.551714
 28.929563 , 36.74946 , 31.728765 , 34.071584 , 33.83669

Pression amont : -18.03908 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.89256 m3/s****Variance : 5.02064e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.893987 , 0.893193 , 0.89386 , 0.893128 , 0.893631
 0.893142 , 0.893277 , 0.893225 , 0.892944 , 0.893239
 0.892606 , 0.893198 , 0.892379 , 0.893004 , 0.892212
 0.892731 , 0.892217 , 0.892358 , 0.892239 , 0.891993
 0.892307 , 0.891631 , 0.892269 , 0.891474 , 0.892188
 0.891426 , 0.891993 , 0.891561 , 0.89179 , 0.891747

Sortie des resultats**Essai # 10****date : 07-07-1994****heure : 15:24:40****Temperature ambiante : 27.34 C****Pression ambiante : 1355.0 kPa****Temperature a la pompe : 37.81 C****Vitesse de rotation de la pompe : 936.22 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 146.61 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -2.24318 kPa****Pression_ amont_cuve : -30.692145 kPa****Pression_ avale_cuve : -25.928965 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 70.57106 kPa****Variance : 10.4138****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

69.019173 , 70.944874 , 73.336364 , 76.074197 , 69.896437
 70.26982 , 71.443816 , 72.643205 , 72.21198 , 70.739607
 70.107111 , 72.134388 , 70.991664 , 71.761709 , 71.89103
 74.993548 , 74.452047 , 73.772762 , 74.512475 , 73.58607
 71.437703 , 69.981788 , 68.293567 , 66.480493 , 68.140498
 67.854582 , 67.787336 , 67.439111 , 63.673766 , 61.260644

Pression amont : 25.31871 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.83502 m3/s****Variance : 8.30579e-008****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.835355 , 0.835044 , 0.835177 , 0.835258 , 0.834958
 0.835431 , 0.834772 , 0.835485 , 0.834688 , 0.835444
 0.83475 , 0.835244 , 0.834885 , 0.83499 , 0.835034
 0.834772 , 0.835201 , 0.83455 , 0.835309 , 0.834491
 0.835304 , 0.834585 , 0.835155 , 0.834772 , 0.83499
 0.835015 , 0.834804 , 0.835242 , 0.834636 , 0.835396

Sortie des resultats**Essai # 11****date : 07-07-1994****heure : 15:25:07****Temperature ambiante : 27.39 C****Pression ambiante : 1426.77 kPa****Temperature a la pompe : 38.11 C****Vitesse de rotation de la pompe : 936.27 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 146.08 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.20714 kPa****Pression_ amont_cuve : -30.896183 kPa****Pression_ avale_cuve : -28.169038 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 70.84328 kPa****Variance : 6.49612****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

67.275461 , 66.514821 , 64.558084 , 64.186581 , 67.893379
 73.122632 , 72.207748 , 73.46733 , 71.084775 , 67.796506
 71.926769 , 73.410899 , 71.902081 , 73.790631 , 70.908429
 72.870809 , 69.462625 , 72.509417 , 72.428298 , 71.045038
 70.954044 , 72.746662 , 72.492723 , 71.55174 , 70.116281
 72.292864 , 71.988608 , 69.818844 , 71.638972 , 73.335423

Pression amont : 23.71879 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.83574 m3/s****Variance : 6.58273e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.836728 , 0.836901 , 0.836817 , 0.836628 , 0.836901
 0.836301 , 0.836928 , 0.836039 , 0.836777 , 0.835947
 0.836479 , 0.835934 , 0.83612 , 0.835928 , 0.835753
 0.835947 , 0.835344 , 0.835909 , 0.835009 , 0.835704
 0.834834 , 0.835415 , 0.83482 , 0.835042 , 0.834847
 0.834701 , 0.834907 , 0.834393 , 0.834996 , 0.834169

Sortie des resultats**Essai # 12****date : 07-07-1994****heure : 15:27:28****Temperature ambiante : 27.34 C****Pression ambiante : 1392.19 kPa****Temperature a la pompe : 38.56 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1169.81 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 266.0 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : -0.28808 kPa****Pression_amont_cuve : -30.613616 kPa****Pression_avale_cuve : -27.805537 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 58.06009 kPa****Variance : 14.84733****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

57.448509 , 59.573599 , 52.948624 , 47.680339 , 52.560427

57.392784 , 60.84047 , 62.898548 , 58.457445 , 58.41136

60.199275 , 60.041034 , 57.896899 , 55.467083 , 61.186344

64.838357 , 64.399607 , 63.733489 , 59.960855 , 54.738185

55.850342 , 53.360334 , 55.840467 , 56.624855 , 57.689516

58.902778 , 58.251472 , 59.986954 , 62.266523 , 52.356336

Pression amont : -18.63905 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.11174 m3/s****Variance : 8.26568e-008****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.112123 , 1.111613 , 1.112121 , 1.111737 , 1.111953

1.111934 , 1.111794 , 1.11211 , 1.111659 , 1.112148

1.111642 , 1.112175 , 1.111629 , 1.112121 , 1.111699

1.111961 , 1.111853 , 1.111702 , 1.111948 , 1.11151

1.111953 , 1.111399 , 1.111867 , 1.111299 , 1.111737

1.111267 , 1.111453 , 1.111348 , 1.111172 , 1.111415

Sortie des resultats**Essai # 13****date : 07-07-1994****heure : 15:28:26****Temperature ambiante : 27.39 C****Pression ambiante : 1340.3 kPa****Temperature a la pompe : 38.26 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1169.29 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 265.18 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : -0.1593 kPa****Pression_amont_cuve : -30.54542 kPa****Pression_avale_cuve : -27.866121 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 57.17411 kPa****Variance : 26.28217****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

59.217144 , 58.520224 , 62.812961 , 65.194811 , 64.081714

62.08712 , 62.284158 , 63.197866 , 67.047152 , 64.772286

53.335175 , 52.143309 , 48.063128 , 48.197621 , 51.061954

54.244416 , 55.314955 , 57.83459 , 57.127794 , 57.203741

56.511993 , 58.706446 , 54.699389 , 53.334234 , 51.556899

55.464732 , 48.540203 , 54.987186 , 58.386671 , 59.293561

Pression amont : -18.66905 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.11168 m3/s****Variance : 3.78895e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.112826 , 1.112323 , 1.112594 , 1.112434 , 1.11231

1.112513 , 1.112037 , 1.112456 , 1.111864 , 1.112318

1.111729 , 1.112175 , 1.111637 , 1.111921 , 1.111678

1.111591 , 1.111715 , 1.11127 , 1.111686 , 1.111118

1.111553 , 1.110967 , 1.111407 , 1.110867 , 1.111148

1.11091 , 1.110829 , 1.110997 , 1.110535 , 1.110948

Sortie des resultats**Essai # 14****date : 07-07-1994****heure : 15:30:06****Temperature ambiante : 27.34 C****Pression ambiante : 100.56 kPa****Temperature a la pompe : 38.62 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1168.27 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 287.33 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.18753 kPa****Pression_ amont_cuve : -30.546109 kPa****Pression_ avale_cuve : -27.838583 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 111.39474 kPa****Variance : 35.00314****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

109.160041 , 105.285597 , 106.503796 , 103.885878 , 105.682258
 107.676146 , 104.784303 , 104.781011 , 104.697306 , 103.510378
 106.507088 , 111.136059 , 110.830157 , 110.731638 , 114.109727
 115.090447 , 120.894354 , 120.688852 , 110.975466 , 108.239749
 107.971232 , 106.403632 , 110.563051 , 114.33498 , 119.186617
 121.337335 , 120.207779 , 119.743871 , 117.667923 , 119.255509

Pression amont : 39.148 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.03574 m3/s****Variance : 8.42002e-008****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.035602 , 1.035145 , 1.035572 , 1.035432 , 1.035507
 1.035707 , 1.035432 , 1.035961 , 1.035459 , 1.036075
 1.035524 , 1.036164 , 1.03564 , 1.036105 , 1.03587
 1.035967 , 1.036099 , 1.03581 , 1.036264 , 1.035678
 1.036248 , 1.035624 , 1.036159 , 1.035535 , 1.035948
 1.035597 , 1.035626 , 1.035648 , 1.035283 , 1.035656

Sortie des resultats**Essai # 15****date : 07-07-1994****heure : 15:30:45****Temperature ambiante : 27.34 C****Pression ambiante : 100.51 kPa****Temperature a la pompe : 38.38 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1167.97 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 284.56 kW.****Ouverture de la vanne : 60.0 %****Pression differentielle : -0.17859 kPa****Pression_amont_cuve : -30.561952 kPa****Pression_avale_cuve : -27.863367 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 108.97268 kPa****Variance : 27.32141****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

116.485933 , 111.271728 , 115.708599 , 118.540014 , 114.499334

110.853905 , 105.713295 , 102.250796 , 104.599022 , 104.918797

111.808996 , 114.176268 , 110.9449 , 110.98111 , 114.84027

116.461245 , 114.722706 , 112.648639 , 109.732578 , 108.295944

105.769021 , 104.93455 , 105.412096 , 104.347905 , 103.049056

102.921382 , 107.266553 , 106.544239 , 98.562338 , 100.919264

Pression amont : 37.50809 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.04188 m3/s****Variance : 2.24302e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.041766 , 1.041504 , 1.041504 , 1.041663 , 1.041269

1.041758 , 1.041201 , 1.04179 , 1.041223 , 1.041817

1.04132 , 1.041728 , 1.041553 , 1.041601 , 1.041817

1.041461 , 1.042025 , 1.041509 , 1.042169 , 1.04162

1.04229 , 1.041847 , 1.042315 , 1.042212 , 1.042312

1.042571 , 1.04229 , 1.042893 , 1.04242 , 1.04309

Sortie des resultats**Essai # 2****date : 07-12-1994****heure : 10:44:50****Temperature ambiante : 27.23 C****Pression ambiante : 100.02 kPa****Temperature a la pompe : 33.76 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.42 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 58.64 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 2.38657 kPa****Pression_ amont_cuve : -23.609113 kPa****Pression_ avale_cuve : -23.475678 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 11.49534 kPa****Variance : 3.88688****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :****11.620358 , 11.867713 , 9.8094 , 10.319393 , 12.064515****11.764727 , 10.961528 , 9.820216 , 8.154567 , 9.436251****7.992799 , 9.521838 , 9.579679 , 8.555696 , 9.954004****10.302229 , 12.755792 , 11.927906 , 12.376295 , 10.701006****13.018666 , 11.164679 , 14.306464 , 13.764728 , 14.552408****12.006203 , 12.561577 , 15.369244 , 14.926262 , 13.704065****Pression amont : -17.28912 kPa****Variance : 0.0****Debit : 0.68433 m3/s****Variance : 1.0797e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :****0.683985 , 0.684274 , 0.683915 , 0.684591 , 0.683842****0.684809 , 0.683955 , 0.684745 , 0.684215 , 0.684615****0.684447 , 0.684428 , 0.684642 , 0.684199 , 0.684812****0.684031 , 0.684869 , 0.683982 , 0.684712 , 0.684085****0.684493 , 0.684245 , 0.684245 , 0.684388 , 0.684018****0.684542 , 0.683818 , 0.684685 , 0.68381 , 0.684612**

Sortie des resultats**Essai # 3****date : 07-12-1994****heure : 10:45:16****Temperature ambiante : 27.23 C****Pression ambiante : 100.3 kPa****Temperature a la pompe : 33.9 C****Vitesse de rotation de la pompe : 701.88 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 58.64 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 1.73998 kPa****Pression_amont_cuve : -24.549187 kPa****Pression_avale_cuve : -23.769164 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 12.35817 kPa****Variance : 2.43406****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

13.058873 , 12.973756 , 11.700772 , 12.209354 , 10.371121
 9.738156 , 12.997975 , 10.2679 , 12.97117 , 11.553111
 12.942484 , 11.939192 , 14.029012 , 10.815984 , 11.374649
 10.697244 , 10.712057 , 10.399102 , 11.933079 , 10.190543
 12.161388 , 12.502559 , 14.52913 , 14.752972 , 14.040298
 12.89734 , 14.13576 , 14.401691 , 12.447304 , 16.001033

Pression amont : -17.22912 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.67872 m3/s****Variance : 8.35371e-008****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.678472 , 0.678908 , 0.678632 , 0.678705 , 0.678835
 0.678462 , 0.679008 , 0.678281 , 0.679143 , 0.678213
 0.67904 , 0.678381 , 0.678856 , 0.678551 , 0.67867
 0.678778 , 0.67847 , 0.67897 , 0.678278 , 0.679148
 0.678235 , 0.679094 , 0.678462 , 0.678951 , 0.678702
 0.67884 , 0.67894 , 0.678694 , 0.679229 , 0.678586

Sortie des resultats**Essai # 4****date : 07-12-1994****heure : 10:49:03****Temperature ambiante : 27.44 C****Pression ambiante : 100.18 kPa****Temperature a la pompe : 34.93 C****Vitesse de rotation de la pompe : 935.79 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 133.12 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 2.87702 kPa****Pression_amont_cuve : -22.531338 kPa****Pression_avale_cuve : -22.888363 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 31.96033 kPa****Variance : 7.13625****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

31.387124 , 31.786607 , 34.050422 , 33.90864 , 32.633069
 30.068289 , 29.053946 , 31.99493 , 34.236173 , 32.703137
 28.734171 , 29.388063 , 29.82211 , 25.734875 , 27.3582
 32.688794 , 33.35985 , 31.379835 , 29.167513 , 29.544894
 31.035137 , 36.61238 , 33.717245 , 31.305299 , 33.082869
 34.990935 , 36.015859 , 35.444498 , 36.762862 , 30.842096

Pression amont : -17.5991 kPa**Variance : 0.0****Debit : 0.89608 m3/s****Variance : 6.08493e-007****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

0.897871 , 0.897 , 0.897595 , 0.896752 , 0.897319
 0.896641 , 0.896892 , 0.896592 , 0.896473 , 0.896584
 0.896071 , 0.896584 , 0.895771 , 0.896422 , 0.895609
 0.896219 , 0.895593 , 0.895911 , 0.895649 , 0.895584
 0.895728 , 0.895287 , 0.895817 , 0.89503 , 0.895717
 0.894933 , 0.895555 , 0.89493 , 0.895244 , 0.894985

Sortie des resultats**Essai # 5**

date : 07-12-1994

heure : 10:50:35

Temperature ambiante : 27.53 C

Pression ambiante : 100.15 kPa

Temperature a la pompe : 35.48 C

Vitesse de rotation de la pompe : 935.63 tours/mn.

Puissance fournie par la pompe : 132.12 kW.

Ouverture de la vanne : 100.0 %

Pression differentielle : 3.5382 kPa

Pression_amont_cuve : -22.901595 kPa

Pression_avale_cuve : -23.919796 kPa

(Hauteur statique : 2.52 kPa)

Pression a la pompe : 33.54784 kPa

Variance : 22.90967

Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :

30.499279 , 24.23311 , 27.807531 , 23.58298 , 25.671625
 26.617546 , 29.64788 , 29.716537 , 27.904639 , 31.159284
 32.551479 , 36.137186 , 37.347391 , 35.436268 , 36.737468
 40.872434 , 37.227946 , 39.765686 , 39.622257 , 36.0998
 34.434857 , 38.816002 , 35.029496 , 34.637537 , 37.5014
 39.207021 , 37.505867 , 33.078166 , 33.179742 , 34.406876

Pression amont : -17.6591 kPa

Variance : 0.0

Debit : 0.8978 m3/s

Variance : 7.42038e-007

Tableau des valeurs du debit echantillonne :

0.899214 , 0.898924 , 0.898927 , 0.898997 , 0.898611
 0.899051 , 0.898316 , 0.898935 , 0.898084 , 0.898719
 0.897989 , 0.898354 , 0.897968 , 0.897949 , 0.89793
 0.897527 , 0.897917 , 0.897179 , 0.897773 , 0.896963
 0.897603 , 0.896863 , 0.89726 , 0.896849 , 0.896873
 0.896855 , 0.896506 , 0.8969 , 0.896163 , 0.896814

Sortie des resultats**Essai # 6**

date : 07-12-1994

heure : 10:53:44

Temperature ambiante : 27.65 C

Pression ambiante : 100.05 kPa

Temperature a la pompe : 36.41 C

Vitesse de rotation de la pompe : 1165.91 tours/mn.

Puissance fournie par la pompe : 264.96 kW.

Ouverture de la vanne : 100.0 %

Pression differentielle : 1.1395 kPa

Pression_amont_cuve : -25.156546 kPa

Pression_avale_cuve : -23.776048 kPa

(Hauteur statique : 2.52 kPa)

Pression a la pompe : 58.57636 kPa

Variance : 20.06033

Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :

61.349523 , 60.92206 , 57.563252 , 57.928641 , 60.678232
 61.223729 , 62.541623 , 52.056782 , 54.862098 , 58.835766
 50.767809 , 56.874561 , 56.381732 , 54.007877 , 50.743826
 50.397012 , 59.059608 , 60.751121 , 65.381973 , 61.764524
 63.599701 , 64.690461 , 57.107103 , 51.302726 , 55.364802
 59.936167 , 60.875974 , 65.089003 , 65.282044 , 59.95098

Pression amont : -18.26907 kPa

Variance : 0.0

Debit : 1.11024 m3/s

Variance : 6.67719e-008

Tableau des valeurs du debit echantillonne :

1.110726 , 1.110194 , 1.11067 , 1.110129 , 1.110637
 1.110145 , 1.110502 , 1.110316 , 1.11031 , 1.110491
 1.110129 , 1.110575 , 1.110089 , 1.110567 , 1.110021
 1.110518 , 1.110016 , 1.110359 , 1.110126 , 1.110099
 1.11024 , 1.109848 , 1.110275 , 1.109764 , 1.110259
 1.10977 , 1.110289 , 1.109848 , 1.110259 , 1.110089

Sortie des resultats**Essai # 7****date : 07-12-1994****heure : 10:54:08****Temperature ambiante : 27.66 C****Pression ambiante : 100.33 kPa****Temperature a la pompe : 36.54 C****Vitesse de rotation de la pompe : 1166.16 tours/mn.****Puissance fournie par la pompe : 265.06 kW.****Ouverture de la vanne : 100.0 %****Pression differentielle : 1.31719 kPa****Pression_amont_cuve : -25.038063 kPa****Pression_avale_cuve : -23.835255 kPa****(Hauteur statique : 2.52 kPa)****Pression a la pompe : 59.30373 kPa****Variance : 11.39118****Tableau des valeurs de la pression a la pompe echantillonnee :**

64.500007 , 62.803791 , 59.339881 , 51.74994 , 50.657063
 59.361043 , 59.488718 , 58.083826 , 57.380792 , 58.937812
 59.547029 , 59.388788 , 54.110863 , 63.004591 , 58.436518
 59.435814 , 59.468967 , 59.911478 , 53.990712 , 60.631206
 64.032337 , 59.598287 , 59.985308 , 62.643434 , 61.272636
 59.582063 , 62.05914 , 65.465914 , 57.516461 , 56.727371

Pression amont : -18.12908 kPa**Variance : 0.0****Debit : 1.10612 m3/s****Variance : 5.54001e-008****Tableau des valeurs du debit echantillonne :**

1.106014 , 1.106451 , 1.105903 , 1.106403 , 1.105849
 1.106357 , 1.105927 , 1.10623 , 1.106138 , 1.106076
 1.106324 , 1.105932 , 1.106435 , 1.105943 , 1.106462
 1.105973 , 1.106497 , 1.106005 , 1.106332 , 1.106173
 1.106122 , 1.106297 , 1.105873 , 1.106351 , 1.105792
 1.106276 , 1.105719 , 1.106168 , 1.10566 , 1.105946

ANNEXE C

Stabilité des mesures de rendement

**ETA STAB
95/02/10**

Organigramme du processus d'acquisition des essais ETA_STAB

-Faire 3 fois

-Faire 10 fois

-Lire la chute H

-10 lectures successives de $10 \mu s$

-Stocker les valeurs dans un vecteur pression

-Lire le couple C

-10 lectures successives de $10 \mu s$

-Stocker les valeurs dans un vecteur couple

-Lire la vitesse de rotation de la turbine $N_{\text{turbine}} = \frac{\int_0^2 N_{\text{turbine}} dt}{(2-0)}$

-Stocker la valeur dans un vecteur vitesse

↳ Retour 10 lectures $Q = \frac{\int_{-30}^0 Q dt}{(0--30)}$

-Lire le débit

-Calculer les moyennes

-Stocker les mesures dans un 1^{er} fichier en identifiant le point de mesure

-Stocker les résultats dans un 2^e fichier en identifiant le point de mesure

↳ Retour 3 mesures

État des boucles de régulation pendant les mesures

#Séq	Boucles de régulation		
	H_1	H_2	N_t
#1 à #60	Active	Active	Active
#61 à #65	N_p Fixe	Active	Active
#66 à #70	Active	Ouv _{v_{max}} Fixe	Active
#71 à #75	N_p Fixe	Ouv _{v_{max}} Fixe	Active

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10N:constant
Points

ETA_STAB

# Séq	Point	Heure	η	P_{hyd}	P_{me}	Q	C	H	N
1	1	11:40:35	82.085	159.5650	130.9790	0.537807	1 060.850	30.3125	1 179.010
2	2	11:41:14	82.620	158.5080	130.9600	0.537110	1 060.800	30.1508	1 178.890
3	3	11:41:54	82.185	159.3100	130.9280	0.537807	1 060.120	30.2641	1 179.370
4	4	11:42:33	82.172	159.8990	131.3910	0.538504	1 064.120	30.3366	1 179.090
5	5	11:43:12	82.434	159.1020	131.1550	0.537110	1 062.120	30.2638	1 179.190
6	6	11:45:25	82.589	127.5070	105.3060	0.515486	853.015	25.2714	1 178.880
7	7	11:46:04	82.538	127.2260	105.0090	0.514789	850.372	25.2498	1 179.210
8	8	11:46:43	82.520	127.0940	104.8770	0.514090	849.624	25.2578	1 178.760
9	9	11:47:25	82.258	127.9350	105.2360	0.516880	852.168	25.2877	1 179.260
10	10	11:49:45	81.348	95.7973	77.9295	0.485491	631.163	20.1597	1 179.050
11	11	11:50:25	81.354	96.0476	78.1389	0.484793	633.025	20.2415	1 178.740
12	12	11:51:04	81.737	96.3254	78.7331	0.484793	637.728	20.3000	1 178.940
13	13	11:51:43	81.463	96.0349	78.2330	0.485491	633.702	20.2097	1 178.900
14	14	11:53:33	78.114	67.0411	52.3684	0.452707	424.041	15.1299	1 179.320
15	15	11:54:13	77.154	67.9252	52.4072	0.452707	424.409	15.3294	1 179.180
16	16	11:54:53	76.499	67.7542	51.8313	0.454101	419.765	15.2439	1 179.120
17	17	11:55:32	77.730	66.5147	51.7022	0.451311	418.761	15.0575	1 179.000
18	18	11:56:11	76.947	68.1302	52.4241	0.452707	424.464	15.3757	1 179.400
19	1	13:03:17	78.595	108.1800	85.0246	0.438059	1 030.050	25.2306	788.235
20	2	13:06:07	77.629	109.8000	85.2368	0.444336	1 031.430	25.2467	789.146
21	3	13:06:46	77.574	110.2360	85.5145	0.445033	1 034.490	25.3071	789.381
22	4	13:07:25	77.941	110.2940	85.9640	0.445033	1 039.900	25.3205	789.401
23	5	13:12:17	80.358	83.9556	67.4652	0.417131	817.417	20.5631	788.147
24	6	13:12:56	80.502	82.8562	66.7009	0.416434	808.175	20.3278	788.130
25	7	13:13:35	80.644	81.5998	65.8056	0.415039	797.321	20.0869	788.136
26	8	13:14:16	80.814	82.3080	66.5163	0.415039	805.698	20.2612	788.364
27	9	13:14:55	80.772	81.8868	66.1418	0.415039	801.523	20.1575	788.010
28	10	13:18:46	82.056	57.8271	47.4504	0.381557	574.896	15.4840	788.174
29	11	13:19:26	82.389	56.4600	46.5170	0.379464	563.585	15.2013	788.177
30	12	13:20:05	82.493	55.4149	45.7132	0.377371	553.822	15.0027	788.212
31	13	13:20:44	82.718	56.3879	46.6431	0.378069	565.048	15.2380	788.268
32	14	13:21:23	82.310	56.1956	46.2544	0.378069	560.583	15.1860	787.925
33	1	15:10:40	79.282	108.4800	86.0052	0.440150	1 043.000	25.1802	787.427
34	2	15:11:21	78.730	109.4790	86.1923	0.443639	1 044.520	25.2123	787.998
35	3	15:12:00	78.636	109.7040	86.2674	0.443639	1 045.640	25.2643	787.840
36	4	15:12:39	78.577	109.6770	86.1807	0.443639	1 044.310	25.2580	788.048
37	5	15:13:19	78.440	109.9960	86.2810	0.444336	1 045.550	25.2918	788.027
38	6	15:15:57	78.616	108.9690	85.6670	0.443639	1 037.880	25.0949	788.206
39	7	15:16:36	78.801	108.7260	85.6771	0.442941	1 037.680	25.0784	788.446
40	8	15:17:15	78.687	108.8640	85.6618	0.443639	1 037.620	25.0706	788.353
41	9	15:17:54	78.679	108.8540	85.6450	0.443639	1 037.790	25.0685	788.065
42	10	15:18:33	78.618	108.9020	85.6172	0.443639	1 036.890	25.0795	788.493

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10

N:constant
Points

ETA_STAB

# Séq	Point	Heure	η	P_{opt}	P_{min}	Q	C	H	N
43	11	15:30:15	80.558	83.1856	67.0124	0.417131	811.880	20.3745	788.197
44	12	15:30:55	80.923	82.2145	66.5302	0.415737	806.089	20.2042	788.147
45	13	15:31:34	81.057	82.5453	66.9088	0.415737	810.504	20.2855	788.314
46	14	15:32:13	81.310	82.3921	66.9930	0.415039	811.626	20.2819	788.215
47	15	15:32:52	81.104	82.1236	66.6059	0.415737	807.354	20.1818	787.808
48	16	15:39:27	80.946	81.6435	66.0870	0.414341	800.334	20.1314	788.525
49	17	15:40:07	81.051	81.4224	65.9937	0.414341	799.366	20.0769	788.367
50	18	15:40:51	81.016	81.5160	66.0412	0.414341	799.225	20.1000	789.073
51	19	15:43:27	80.731	81.7589	66.0051	0.415737	799.562	20.0922	788.309
52	20	15:44:12	81.079	81.3492	65.9571	0.413644	798.534	20.0927	788.751
53	21	15:44:56	81.517	77.7771	63.4014	0.411551	765.825	19.3081	790.570
54	22	15:45:41	81.117	81.1235	65.8048	0.412947	797.193	20.0708	788.253
55	23	15:46:20	80.916	81.4060	65.8702	0.414341	797.925	20.0729	788.312
56	24	15:49:44	81.043	81.8285	66.3166	0.414341	802.540	20.1771	789.091
57	25	15:50:23	80.852	82.2052	66.4646	0.415039	804.029	20.2359	789.387
58	26	15:51:02	81.185	82.2758	66.7956	0.414341	808.010	20.2874	789.410
59	27	15:51:44	80.945	82.1090	66.4632	0.415039	804.326	20.2122	789.079
60	28	15:52:23	80.955	82.0480	66.4220	0.415039	803.582	20.1972	789.319
61	29	15:54:39	80.911	82.4083	66.6774	0.415039	807.677	20.2859	788.338
62	30	15:55:20	80.822	82.3958	66.5936	0.415039	806.773	20.2828	788.229
63	31	15:56:00	80.888	82.2627	66.5404	0.415039	806.194	20.2500	788.165
64	32	15:58:08	81.056	81.9999	66.4658	0.413644	805.365	20.2534	788.092
65	33	15:58:48	80.957	82.0969	66.4634	0.414341	805.509	20.2432	787.922
66	34	16:01:37	80.886	82.2933	66.5634	0.415039	806.665	20.2576	787.978
67	35	16:02:17	81.130	82.0831	66.5939	0.414341	806.543	20.2398	788.458
68	36	16:02:56	81.172	81.9038	66.4830	0.413644	805.628	20.2297	788.039
69	37	16:03:35	81.081	82.0484	66.5257	0.414341	805.905	20.2313	788.273
70	38	16:04:14	81.037	82.0293	66.4741	0.414341	805.355	20.2266	788.200
71	39	16:10:45	80.910	82.1773	66.4899	0.414341	805.483	20.2631	788.262
72	40	16:11:24	81.222	81.8128	66.4497	0.412947	805.026	20.2413	788.232
73	41	16:12:03	81.252	81.8810	66.5300	0.412947	805.721	20.2582	788.505
74	42	16:12:42	81.262	81.7100	66.3995	0.412249	804.170	20.2501	788.476
75	43	16:14:45	81.334	81.7503	66.4905	0.412249	805.027	20.2601	788.716

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10

N:constant
Moyennes

ETA_STAB

Moyenne								
# Séq	Point	η	P_{hyd}	P_{mec}	Q	C	H	N
1-5	1-5	82.299	159.277	131.083	0.5377	1 061.602	30.2656	1 179.110
6-9	6-9	82.476	127.441	105.107	0.5153	851.295	25.2667	1 179.028
10-13	10-13	81.476	96.051	78.259	0.4851	633.905	20.2277	1 178.908
14-18	14-18	77.289	67.473	52.147	0.4527	422.288	15.2273	1 179.204
19-22	1-4	77.935	109.628	85.435	0.4431	1 033.968	25.2762	789.041
23-27	5-9	80.618	82.521	66.526	0.4157	806.027	20.2793	788.157
28-32	10-14	82.393	56.457	46.516	0.3789	563.587	15.2224	788.151
33-42	1-10	78.707	109.165	85.919	0.4433	1 041.088	25.1599	788.090
43-55	11-23	81.025	81.574	66.093	0.4147	800.417	20.0979	788.526
56-60	24-28	80.996	82.093	66.492	0.4148	804.497	20.2220	789.257
61-65	29-33	80.927	82.233	66.548	0.4146	806.304	20.2631	788.149
66-70	34-38	81.061	82.072	66.528	0.4143	806.019	20.2370	788.190
71-75	39-43	81.196	81.866	66.472	0.4129	805.085	20.2546	788.438

Ecart-type								
# Séq	Point	η	P_{hyd}	P_{mec}	Q	C	H	N
1-5	1-5	0.222	0.523	0.194	0.0006	1.582	0.0715	0.182
6-9	6-9	0.148	0.372	0.199	0.0012	1.567	0.0166	0.245
10-13	10-13	0.182	0.216	0.341	0.0004	2.766	0.0588	0.128
14-18	14-18	0.639	0.675	0.350	0.0010	2.789	0.1333	0.159
19-22	1-4	0.469	0.990	0.406	0.0034	4.369	0.0442	0.550
23-27	5-9	0.190	0.931	0.628	0.0010	7.592	0.1838	0.128
28-32	10-14	0.243	0.871	0.633	0.0017	7.655	0.1723	0.132
33-42	1-10	0.224	0.505	0.290	0.0012	3.784	0.0911	0.314
43-55	11-23	0.237	1.281	0.922	0.0014	11.758	0.2567	0.685
56-60	24-28	0.125	0.172	0.180	0.0004	2.077	0.0424	0.161
61-65	29-33	0.087	0.181	0.091	0.0006	0.953	0.0198	0.156
66-70	34-38	0.110	0.141	0.051	0.0005	0.570	0.0125	0.191
71-75	39-43	0.165	0.186	0.049	0.0009	0.593	0.0088	0.198

Ecart-type %								
# Séq	Point	η	P_{hyd}	P_{mec}	Q	C	H	N
1-5	1-5	0.27%	0.33%	0.15%	0.11%	0.15%	0.24%	0.02%
6-9	6-9	0.18%	0.29%	0.19%	0.23%	0.18%	0.07%	0.02%
10-13	10-13	0.22%	0.22%	0.44%	0.08%	0.44%	0.29%	0.01%
14-18	14-18	0.83%	1.00%	0.67%	0.22%	0.66%	0.88%	0.01%
19-22	1-4	0.60%	0.90%	0.47%	0.76%	0.42%	0.17%	0.07%
23-27	5-9	0.24%	1.13%	0.94%	0.24%	0.94%	0.91%	0.02%
28-32	10-14	0.30%	1.54%	1.36%	0.44%	1.36%	1.13%	0.02%
33-42	1-10	0.28%	0.46%	0.34%	0.26%	0.36%	0.36%	0.04%
43-55	11-23	0.29%	1.57%	1.39%	0.35%	1.47%	1.28%	0.09%
56-60	24-28	0.15%	0.21%	0.27%	0.09%	0.26%	0.21%	0.02%
61-65	29-33	0.11%	0.22%	0.14%	0.15%	0.12%	0.10%	0.02%
66-70	34-38	0.14%	0.17%	0.08%	0.12%	0.07%	0.06%	0.02%
71-75	39-43	0.20%	0.23%	0.07%	0.21%	0.07%	0.04%	0.03%

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10

N:constant
Sous-échantillons

ETA_STAB

Points:	10		11		12		13				
S-éch	C	e95%	C	e95%	C	e95%	C	e95%	C	e95%	
1	619.442	15.06%	626.932	12.72%	648.033	12.86%	639.363	15.21%			
2	635.298	13.94%	621.144	13.70%	644.551	13.22%	637.500	15.08%			
3	627.226	13.57%	639.977	13.05%	639.013	14.50%	631.805	13.64%			
4	636.895	11.21%	637.600	14.57%	634.664	14.89%	629.541	12.94%			
5	631.085	13.97%	629.200	15.05%	638.737	15.40%	642.672	12.48%			
6	635.185	14.44%	628.358	15.20%	629.257	13.07%	631.593	13.15%			
7	638.351	14.44%	630.651	14.32%	636.647	12.86%	634.450	13.65%			
8	630.499	13.55%	645.546	12.22%	629.247	13.79%	635.076	15.56%			
9	634.047	14.38%	632.777	12.54%	644.335	14.70%	631.932	14.47%			
10	623.600	13.75%	638.073	12.38%	632.799	15.37%	623.092	14.23%			
Moy s-éch	631.163	2.23%	633.025	2.64%	637.728	2.34%	633.702	1.99%			
Ens moy s-éch	633.905	2.10%	Moyenne des e95% de Moy s-éch: 2.30%								
Éch	631.163	11.52%	633.025	11.37%	637.728	11.73%	633.702	11.66%			
Ens éch	633.905	1.39%	Moyenne des e95% d'échantillon: 11.57%								
S-éch	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%	
1	20.094	1.09%	20.217	1.03%	20.299	1.57%	20.209	1.11%			
2	20.095	0.91%	20.195	1.19%	20.343	1.28%	20.222	1.65%			
3	20.103	1.10%	20.200	0.92%	20.347	0.97%	20.253	1.58%			
4	20.123	1.13%	20.202	1.13%	20.356	1.98%	20.187	1.08%			
5	20.231	1.78%	20.210	1.08%	20.316	1.27%	20.181	1.27%			
6	20.204	1.34%	20.296	1.31%	20.262	1.69%	20.282	1.00%			
7	20.245	1.22%	20.202	1.21%	20.307	1.64%	20.183	1.12%			
8	20.252	0.87%	20.301	0.92%	20.225	1.08%	20.162	0.74%			
9	20.091	1.37%	20.330	1.13%	20.294	1.78%	20.281	0.90%			
10	20.159	0.96%	20.263	1.20%	20.252	1.34%	20.138	1.61%			
Moy s-éch	20.160	0.77%	20.241	0.58%	20.300	0.49%	20.210	0.56%			
Ens moy s-éch	20.228	0.73%	Moyenne des e95% de Moy s-éch: 0.60%								
Éch	20.160	1.17%	20.241	1.03%	20.300	1.29%	20.210	1.12%			
Ens éch	20.228	0.93%	Moyenne des e95% d'échantillon: 1.15%								
	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%	
Éch	1179.049	0.12%	1178.739	0.11%	1178.943	0.07%	1178.899	0.10%			
Ens éch	1178.907	0.03%	Moyenne des e95% d'échantillon: 0.10%								

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%; n=10): 11 < x < 33

Points:	10	11	12	13	
C	22.000	14.000	34.000	30.000	
H	13.000	11.000	33.000	29.000	

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10

N:constant
Sous-échantillons

ETA_STAB

Points:	23		24		25		26		27	
S-éch	C	e95%	C	e95%	C	e95%	C	e95%	C	e95%
1	822.208	2.43%	815.670	5.18%	793.137	5.29%	797.688	3.37%	803.934	4.66%
2	818.502	4.71%	806.516	3.94%	807.580	2.88%	810.502	2.41%	803.768	5.17%
3	830.531	5.41%	814.230	6.99%	798.765	2.31%	810.896	4.08%	799.180	3.55%
4	813.808	3.60%	802.606	3.69%	798.728	3.61%	814.787	4.32%	799.523	2.38%
5	817.347	3.42%	811.185	4.07%	799.674	2.41%	812.632	4.92%	801.824	3.26%
6	815.922	5.39%	811.614	2.60%	792.468	5.48%	805.573	4.23%	787.015	3.10%
7	807.593	4.11%	802.349	4.19%	800.208	4.28%	803.604	2.42%	794.980	4.05%
8	814.942	5.56%	802.150	2.69%	785.890	4.86%	789.733	3.08%	808.097	3.70%
9	811.206	3.11%	806.780	2.66%	802.493	2.72%	813.123	2.59%	803.595	2.65%
10	822.115	3.64%	808.653	4.18%	794.269	2.94%	798.448	3.55%	813.312	5.53%
Moy s-éch	817.417	1.82%	808.175	1.41%	797.321	1.75%	805.698	2.36%	801.523	2.06%
Ens moy s-éch	806.027	2.35%	Moyenne des e95% de Moy s-éch:							1.88%
Éch	817.417	3.81%	808.175	3.65%	797.321	3.47%	805.698	3.53%	801.523	3.65%
Ens éch	806.027	2.62%	Moyenne des e95% d'échantillon:							3.62%
S-éch	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%
1	20.670	0.61%	20.414	0.91%	20.228	1.23%	20.231	1.04%	20.197	0.45%
2	20.603	1.25%	20.398	0.99%	20.094	0.64%	20.239	1.05%	20.180	1.63%
3	20.585	0.91%	20.374	0.77%	20.196	0.86%	20.263	0.96%	20.148	0.55%
4	20.570	1.24%	20.400	0.90%	20.076	0.85%	20.299	0.97%	20.132	1.25%
5	20.528	0.75%	20.384	0.82%	20.017	0.81%	20.220	0.81%	20.162	0.91%
6	20.532	1.42%	20.276	1.08%	20.030	1.07%	20.312	0.71%	20.176	1.53%
7	20.527	0.91%	20.304	1.04%	19.987	0.56%	20.238	1.22%	20.143	0.33%
8	20.636	0.61%	20.229	1.26%	20.091	0.80%	20.216	0.94%	20.104	1.25%
9	20.415	1.04%	20.179	1.18%	20.026	1.05%	20.262	1.02%	20.145	1.06%
10	20.565	1.14%	20.321	0.71%	20.125	1.08%	20.331	1.10%	20.189	1.65%
Moy s-éch	20.563	0.79%	20.328	0.91%	20.087	0.90%	20.261	0.46%	20.158	0.33%
Ens moy s-éch	20.279	1.76%	Moyenne des e95% de Moy s-éch:							0.68%
Éch	20.563	1.06%	20.328	1.10%	20.087	1.05%	20.261	0.90%	20.158	0.99%
Ens éch	20.279	2.52%	Moyenne des e95% d'échantillon:							1.02%
S-éch	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%
Éch	788.149	0.21%	788.130	0.13%	788.135	0.17%	788.363	0.21%	788.010	0.18%
Ens éch	788.157	0.04%	Moyenne des e95% d'échantillon:							0.18%

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%; n=10): $11 < x < 33$

Points:	23	24	25	26	27
C	31.000	30.000	24.000	25.000	20.000
H	34.000	37.000	30.000	18.000	28.000

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10

N:constant
Sous-échantillons

ETA_STAB

Points: S-éch	56		57		58		59		60	
	C	e95%	C	e95%	C	e95%	C	e95%	C	e95%
1	803.537	0.37%	802.483	0.10%	806.644	0.22%	803.285	0.26%	803.946	0.18%
2	803.112	0.42%	802.853	0.13%	808.184	0.44%	804.617	0.26%	805.589	0.19%
3	797.840	0.46%	802.260	0.50%	810.323	0.17%	804.287	0.20%	805.913	0.14%
4	802.969	0.23%	801.893	0.22%	809.574	0.14%	804.902	0.14%	804.259	0.23%
5	801.662	0.33%	802.023	0.42%	807.771	0.25%	802.038	0.18%	804.943	0.33%
6	801.713	0.44%	804.866	0.35%	808.677	0.19%	804.642	0.28%	800.432	0.29%
7	801.601	0.15%	803.748	0.18%	808.036	0.17%	802.791	0.19%	803.031	0.29%
8	803.462	0.24%	804.246	0.45%	807.992	0.30%	803.853	0.19%	801.286	0.13%
9	804.382	0.24%	808.062	0.26%	807.069	0.18%	809.446	0.31%	803.289	0.19%
10	805.211	0.20%	807.861	0.10%	805.601	0.35%	803.387	0.10%	803.167	0.46%
Moy s-éch	802.549	0.59%	804.029	0.66%	807.987	0.39%	804.325	0.58%	803.585	0.50%
Ens moy s-éch	804.495 0.66%		Moyenne des e95% de Moy s-éch: 0.54%							
Éch	802.549	0.55%	804.029	0.59%	807.987	0.38%	804.324	0.51%	803.585	0.47%
Ens éch	804.495 0.71%		Moyenne des e95% d'échantillon: 0.50%							
S-éch	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%
1	20.209	0.09%	20.176	0.08%	20.284	0.09%	20.231	0.11%	20.197	0.06%
2	20.198	0.07%	20.194	0.08%	20.291	0.06%	20.216	0.06%	20.190	0.10%
3	20.144	0.05%	20.183	0.08%	20.324	0.07%	20.226	0.09%	20.226	0.08%
4	20.177	0.05%	20.191	0.07%	20.313	0.14%	20.240	0.10%	20.226	0.04%
5	20.196	0.08%	20.217	0.23%	20.284	0.07%	20.187	0.10%	20.219	0.15%
6	20.129	0.08%	20.281	0.20%	20.298	0.08%	20.197	0.10%	20.170	0.08%
7	20.150	0.07%	20.261	0.12%	20.279	0.09%	20.212	0.11%	20.210	0.10%
8	20.189	0.13%	20.244	0.12%	20.271	0.15%	20.196	0.08%	20.180	0.10%
9	20.175	0.05%	20.294	0.06%	20.254	0.09%	20.235	0.11%	20.194	0.05%
10	20.204	0.13%	20.319	0.06%	20.277	0.16%	20.183	0.04%	20.161	0.09%
Moy s-éch	20.177	0.32%	20.236	0.58%	20.287	0.23%	20.212	0.24%	20.197	0.26%
Ens moy s-éch	20.222 0.48%		Moyenne des e95% de Moy s-éch: 0.32%							
Éch	20.177	0.27%	20.236	0.49%	20.287	0.20%	20.212	0.21%	20.197	0.23%
Ens éch	20.222 0.58%		Moyenne des e95% d'échantillon: 0.28%							
	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%
Éch	789.092	0.17%	789.388	0.17%	789.409	0.12%	789.079	0.16%	789.320	0.15%
Ens éch	789.258 0.06%		Moyenne des e95% d'échantillon: 0.15%							

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%; n=10): $11 < x < 33$

Points:	56	57	58	59	60
C	17.000	11.000	31.000	21.000	31.000
H	25.000	5.000	34.000	30.000	32.000

Stabilité des mesures de rendement
95/02/10

N:constant
Sous-échantillons

ETA_STAB

Points: S-éch	66 C	e95%	67 C	e95%	68 C	e95%	69 C	e95%	70 C	e95%
1	807.629	0.30%	803.813	0.21%	805.333	0.21%	804.835	0.25%	806.085	0.21%
2	806.480	0.21%	806.230	0.17%	804.672	0.26%	805.771	0.24%	805.835	0.40%
3	804.452	0.17%	807.876	0.39%	806.034	0.17%	806.360	0.33%	805.145	0.22%
4	805.192	0.22%	804.297	0.17%	806.479	0.19%	805.426	0.20%	802.767	0.41%
5	807.205	0.17%	806.442	0.17%	806.419	0.13%	804.434	0.28%	805.636	0.24%
6	808.437	0.23%	807.321	0.26%	804.167	0.09%	805.339	0.22%	805.483	0.40%
7	806.976	0.26%	808.935	0.27%	803.492	0.19%	806.113	0.33%	808.683	0.18%
8	806.547	0.38%	807.898	0.32%	809.883	0.13%	806.747	0.18%	805.646	0.12%
9	807.868	0.28%	808.128	0.17%	803.057	0.41%	806.554	0.16%	804.855	0.08%
10	805.709	0.37%	804.342	0.11%	806.651	0.17%	807.363	0.11%	803.346	0.08%
Moy s-éch	806.649	0.36%	806.528	0.52%	805.618	0.56%	805.894	0.26%	805.348	0.46%
Ens moy s-éch	806.007	0.40%	Moyenne des e95% de Moy s-éch: 0.43%							
Éch	806.649	0.37%	806.528	0.47%	805.618	0.49%	805.894	0.29%	805.348	0.43%
Ens éch	806.007	0.20%	Moyenne des e95% d'échantillon: 0.41%							
S-éch	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%	H	e95%
1	20.260	0.12%	20.221	0.13%	20.209	0.06%	20.225	0.11%	20.220	0.08%
2	20.254	0.11%	20.225	0.11%	20.214	0.08%	20.216	0.12%	20.203	0.09%
3	20.242	0.18%	20.208	0.08%	20.228	0.09%	20.220	0.05%	20.191	0.07%
4	20.255	0.08%	20.223	0.05%	20.242	0.05%	20.223	0.07%	20.206	0.09%
5	20.235	0.12%	20.264	0.08%	20.238	0.11%	20.214	0.06%	20.226	0.06%
6	20.254	0.12%	20.246	0.14%	20.211	0.11%	20.223	0.06%	20.238	0.07%
7	20.261	0.07%	20.234	0.12%	20.212	0.13%	20.224	0.11%	20.291	0.08%
8	20.259	0.13%	20.268	0.14%	20.280	0.14%	20.239	0.11%	20.257	0.06%
9	20.292	0.04%	20.290	0.08%	20.222	0.11%	20.255	0.08%	20.221	0.09%
10	20.263	0.08%	20.219	0.16%	20.240	0.06%	20.274	0.13%	20.214	0.06%
Moy s-éch	20.258	0.17%	20.240	0.30%	20.230	0.25%	20.231	0.22%	20.227	0.33%
Ens moy s-éch	20.237	0.25%	Moyenne des e95% de Moy s-éch: 0.25%							
Éch	20.258	0.17%	20.240	0.26%	20.230	0.22%	20.231	0.20%	20.227	0.28%
Ens éch	20.237	0.17%	Moyenne des e95% d'échantillon: 0.23%							
	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%	N	e95%
Éch	787.977	0.11%	788.458	0.16%	788.038	0.18%	788.273	0.15%	788.200	0.16%
Ens éch	788.189	0.07%	Moyenne des e95% d'échantillon: 0.15%							

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%; n=10): 11 < x < 33										
Points:	66	67	68	69	70					
C	21.000	13.000	22.000	11.000	29.000					
H	14.000	14.000	15.000	9.000	15.000					

ANNEXE D

Mesures de rendement

**ETA_00
95/01/10**

**ETA_01
95/01/29**

**ETA_02
95/03/03**

Organigramme du processus d'acquisition des essais ETA_XX

-Faire 3 fois

-Faire 10 fois

-Lire la chute H

-10 lectures successives de $10 \mu s$

-Stocker les valeurs dans un vecteur pression

-Lire le couple C

-10 lectures successives de $10 \mu s$

-Stocker les valeurs dans un vecteur couple

-Lire la vitesse de rotation de la turbine $N_{turbine} = \frac{\int_0^2 N_{turbine} dt}{(2-0)}$

-Stocker la valeur dans un vecteur vitesse

↳ Retour 10 lectures $\int_{-30}^0 Q dt$

-Lire le débit $Q = \frac{\int_{-30}^0 Q dt}{(0--30)}$

-Calculer les moyennes

-Stocker les mesures dans un 1^{er} fichier en identifiant le point de mesure

-Stocker les résultats dans un 2^e fichier en identifiant le point de mesure

↳ Retour 3 mesures

Mesure de Rendement
95/01/29N:constant
Points

ETA_01

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#1	08:07:19	82.7085	8.8698	10.7241	0.214146	214.189	5.1164	395.446	Acceptee
#2	08:08:58	82.5579	8.8763	10.7516	0.214844	214.828	5.1128	394.559	Acceptee
#3	08:10:37	82.0448	8.8639	10.8038	0.215541	214.024	5.1210	395.490	Acceptee
#4	08:12:24	77.5317	13.8200	17.8249	0.244839	334.348	7.4381	394.711	Acceptee
#5	08:14:03	76.5359	14.0525	18.3607	0.248326	339.323	7.5540	395.470	Acceptee
#6	08:15:43	76.6990	14.0905	18.3712	0.248326	340.368	7.5583	395.320	Acceptee
#7	08:17:22	70.4575	19.3307	27.4359	0.274833	466.579	10.1991	395.634	Acceptee
#8	08:19:03	69.6830	19.4596	27.9259	0.277623	469.694	10.2769	395.631	Acceptee
#9	08:20:44	70.1253	19.4734	27.7694	0.275530	471.193	10.2970	394.652	Acceptee
#10	08:22:23	65.9724	24.5679	37.2397	0.297851	593.168	12.7737	395.514	Acceptee
#11	08:24:03	65.5054	24.8030	37.8641	0.299944	598.729	12.8973	395.590	Acceptee
#12	08:25:42	65.2852	24.7102	37.8496	0.299944	597.843	12.8923	394.693	Acceptee
#13	08:27:21	62.3206	29.7950	47.8093	0.318779	719.436	15.3227	395.479	Acceptee
#14	08:29:00	62.1800	29.8990	48.0846	0.319476	723.168	15.3773	394.811	Acceptee
#15	08:30:39	62.6398	30.1414	48.1186	0.319476	728.026	15.3882	395.355	Acceptee
#16	08:34:03	80.5001	8.7252	10.8388	0.244839	141.048	4.5228	590.719	Refusee
#17	08:35:42	83.5395	9.8340	11.7716	0.243443	158.678	4.9403	591.812	Acceptee
#18	08:37:21	83.2623	9.8163	11.7896	0.244140	158.366	4.9337	591.914	Acceptee
#19	08:39:01	83.3191	9.8107	11.7748	0.243443	158.240	4.9416	592.043	Acceptee
#20	08:40:42	83.8476	16.7326	19.9560	0.272740	269.930	7.4754	591.949	Acceptee
#21	08:42:22	83.9507	17.0018	20.2522	0.274833	274.250	7.5286	591.999	Acceptee
#22	08:44:01	83.2434	16.9273	20.3347	0.275530	272.986	7.5402	592.131	Acceptee
#23	08:45:40	82.5279	24.4151	29.5840	0.300641	393.793	10.0536	592.055	Acceptee
#24	08:47:21	82.2953	24.5564	29.8394	0.302037	395.911	10.0935	592.295	Acceptee
#25	08:49:00	81.7567	24.5067	29.9751	0.302734	395.284	10.1161	592.034	Acceptee
#26	08:50:39	79.7503	32.2911	40.4902	0.325753	520.926	12.6991	591.940	Acceptee
#27	08:52:18	79.4220	32.4461	40.8528	0.327149	523.432	12.7582	591.935	Acceptee
#28	08:53:58	79.4162	32.4078	40.8075	0.327846	522.534	12.7169	592.251	Acceptee
#29	08:55:38	76.7859	39.9800	52.0668	0.347377	644.575	15.3134	592.298	Acceptee
#30	08:57:19	76.4661	39.9843	52.2902	0.348074	644.935	15.3483	592.031	Acceptee
#31	08:58:58	76.4108	40.1163	52.5009	0.348773	646.761	15.3793	592.310	Acceptee
#32	09:00:38	74.2412	47.3758	63.8133	0.364816	764.071	17.8710	592.099	Acceptee
#33	09:02:17	73.9154	47.5468	64.3259	0.366909	767.038	17.9118	591.938	Refusee
#34	09:03:57	74.1598	47.4080	63.9268	0.365513	764.238	17.8686	592.371	Refusee
#35	09:05:36	74.0889	47.6042	64.2528	0.366211	767.941	17.9255	591.955	Refusee
#36	09:07:17	73.9619	47.3455	64.0134	0.366211	762.402	17.8587	593.016	Refusee
#37	09:08:56	74.2286	47.2721	63.6845	0.364816	762.324	17.8350	592.157	Acceptee
#38	09:10:35	74.0032	47.4808	64.1605	0.366211	765.856	17.8998	592.028	Acceptee
#39	09:12:14	72.1494	54.2539	75.1965	0.380860	875.043	20.1718	592.069	Acceptee
#40	09:13:54	72.2354	54.6037	75.5913	0.381557	881.069	20.2406	591.812	Acceptee
#41	09:15:33	72.0695	54.5155	75.6429	0.380860	879.380	20.2915	591.990	Acceptee
#42	09:18:58	72.1248	9.9366	13.7769	0.284599	120.443	4.9457	787.819	Acceptee
#43	09:20:38	72.0123	9.5968	13.3266	0.282506	116.317	4.8195	787.875	Acceptee
#44	09:22:17	70.9366	9.4990	13.3908	0.283203	114.991	4.8308	788.833	Acceptee
#45	09:23:56	81.1359	18.2970	22.5511	0.308314	221.660	7.4728	788.250	Acceptee
#46	09:25:36	80.3353	18.1897	22.6423	0.309710	220.424	7.4692	788.021	Acceptee
#47	09:27:16	80.5817	18.2366	22.6313	0.309013	220.940	7.4825	788.209	Acceptee

Mesure de Rendement
95/01/29N:constant
Points

ETA_01

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#48	09:28:57	82.9355	27.1149	32.6940	0.333426	328.187	10.0180	788.965	Acceptee
#49	09:30:36	82.7969	27.1571	32.7997	0.334124	328.601	10.0294	789.199	Acceptee
#50	09:32:15	82.5833	27.1806	32.9129	0.334821	329.256	10.0430	788.309	Acceptee
#51	09:33:54	83.0092	36.4734	43.9390	0.356446	441.312	12.5941	789.229	Acceptee
#52	09:35:34	82.9048	36.6527	44.2106	0.357840	443.949	12.6226	788.396	Acceptee
#53	09:37:13	82.6140	36.4663	44.1406	0.357143	441.901	12.6272	788.021	Acceptee
#54	09:38:52	82.9818	46.2599	55.7471	0.376674	560.239	15.1206	788.502	Acceptee
#55	09:40:31	82.1293	46.1856	56.2352	0.378767	559.462	15.1687	788.329	Acceptee
#56	09:42:10	81.8770	46.1623	56.3801	0.379464	559.317	15.1798	788.136	Acceptee
#57	09:43:52	81.6134	55.7822	68.3493	0.395507	675.528	17.6560	788.540	Acceptee
#58	09:45:33	81.2658	55.8901	68.7744	0.397600	677.096	17.6723	788.235	Acceptee
#59	09:47:13	81.5445	55.9763	68.6451	0.396206	678.181	17.7011	788.188	Acceptee
#60	09:48:52	80.6268	65.6936	81.4787	0.413644	795.574	20.1247	788.522	Acceptee
#61	09:50:32	80.7174	66.0629	81.8447	0.414341	800.444	20.1810	788.130	Acceptee
#62	09:52:12	80.5778	65.9814	81.8853	0.414341	798.504	20.1911	789.070	Acceptee
#63	09:53:51	79.0878	75.4269	95.3710	0.429687	912.857	22.6765	789.032	Acceptee
#64	09:55:30	78.8909	75.5187	95.7255	0.430386	914.495	22.7238	788.578	Refusee
#65	09:57:10	79.2327	75.9439	95.8492	0.429687	919.630	22.7902	788.590	Acceptee
#66	09:58:50	79.2102	75.6491	95.5042	0.428990	916.727	22.7451	788.016	Acceptee
#67	10:00:28	77.7753	84.8543	109.1020	0.442941	1 026.970	25.1650	789.018	Acceptee
#68	10:02:08	77.7864	85.1985	109.5290	0.443639	1 032.460	25.2238	788.007	Acceptee
#69	10:05:40	68.8179	17.3836	25.2603	0.350167	168.661	7.3701	984.231	Acceptee
#70	10:07:22	69.6419	17.8944	25.6949	0.351563	173.564	7.4672	984.533	Acceptee
#71	10:09:02	69.8549	18.0124	25.7854	0.352260	174.629	7.4786	984.979	Acceptee
#72	10:10:44	75.8314	26.7017	35.2119	0.369001	258.969	9.7493	984.606	Acceptee
#73	10:12:23	75.7514	26.8067	35.3877	0.370396	259.892	9.7611	984.967	Acceptee
#74	10:14:03	75.8724	26.7971	35.3187	0.369699	260.270	9.7604	983.186	Acceptee
#75	10:15:42	79.8274	36.3335	45.5152	0.387834	352.278	11.9901	984.902	Acceptee
#76	10:17:22	79.5194	36.3879	45.7597	0.389927	352.904	11.9898	984.627	Acceptee
#77	10:19:01	79.3851	36.4070	45.8612	0.389927	352.953	12.0164	985.008	Acceptee
#78	10:20:43	82.0720	46.7860	57.0060	0.407366	454.280	14.2971	983.476	Acceptee
#79	10:22:22	81.9269	46.7952	57.1182	0.407366	453.810	14.3252	984.688	Acceptee
#80	10:24:02	82.2595	46.8984	57.0127	0.406669	454.814	14.3233	984.680	Acceptee
#81	10:25:41	82.5883	56.7399	68.7021	0.424107	550.124	16.5503	984.917	Acceptee
#82	10:27:20	82.7195	56.9288	68.8214	0.423410	552.792	16.6064	983.426	Acceptee
#83	10:29:00	82.6760	57.0103	68.9564	0.424107	552.792	16.6116	984.835	Acceptee
#84	10:30:40	83.2448	67.7327	81.3657	0.440150	656.777	18.8865	984.809	Acceptee
#85	10:32:20	82.9753	67.4426	81.2803	0.440150	653.853	18.8667	984.976	Acceptee
#86	10:33:59	82.9815	67.7898	81.6927	0.440849	657.261	18.9324	984.914	Acceptee
#87	10:35:39	82.5108	77.8578	94.3608	0.454799	755.159	21.1975	984.545	Acceptee
#88	10:37:18	82.5794	77.9478	94.3912	0.454799	756.846	21.2043	983.484	Acceptee
#89	10:38:57	82.9197	78.2369	94.3527	0.454799	758.481	21.1956	985.005	Acceptee
#90	10:40:38	82.2506	88.1855	107.2160	0.467354	855.400	23.4382	984.463	Acceptee
#91	10:42:18	82.4275	88.2610	107.0770	0.467354	857.102	23.4079	983.350	Acceptee
#92	10:43:57	82.3885	88.5763	107.5110	0.468053	858.946	23.4676	984.744	Acceptee
#93	10:45:36	81.9971	98.9051	120.6200	0.479911	958.675	25.6785	985.187	Acceptee
#94	10:47:17	81.8466	98.9549	120.9030	0.480609	959.652	25.7014	984.680	Acceptee
#95	10:48:56	82.0481	99.0981	120.7800	0.479911	962.111	25.7127	983.584	Acceptee

Mesure de Rendement
95/01/29

N:constant
Points

ETA_01

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#96	10:50:35	81.0492	109.0460	134.5430	0.492467	1 058.500	27.9124	983.766	Acceptee
#97	10:52:14	81.4200	109.5370	134.5330	0.491769	1 063.440	27.9499	983.599	Acceptee
#98	10:53:53	81.0882	109.3230	134.8200	0.492467	1 061.410	27.9697	983.555	Acceptee
#99	10:57:35	68.7136	28.4086	41.3436	0.417131	230.328	10.1262	1 177.810	Acceptee
#100	10:59:15	68.2847	28.0855	41.1300	0.416434	227.780	10.0908	1 177.440	Acceptee
#101	11:00:54	68.6688	27.8103	40.4992	0.415737	225.242	9.9527	1 179.040	Acceptee
#102	11:02:34	74.4129	39.6358	53.2648	0.434570	321.004	12.5225	1 179.100	Acceptee
#103	11:04:13	73.3765	39.0584	53.2301	0.434570	316.381	12.5144	1 178.890	Acceptee
#104	11:05:53	72.4058	38.4630	53.1214	0.433873	311.475	12.5089	1 179.210	Acceptee
#105	11:07:32	80.2537	49.2844	61.4108	0.438059	400.678	14.3227	1 174.590	Refusee
#106	11:24:23	74.4790	39.2776	52.7365	0.429687	318.214	12.5392	1 178.680	Acceptee
#107	11:26:04	74.4239	40.1034	53.8852	0.434570	324.851	12.6684	1 178.880	Acceptee
#108	11:27:44	73.9352	39.7714	53.7922	0.434570	322.171	12.6465	1 178.840	Acceptee
#109	11:29:22	77.8347	51.9635	66.7614	0.449916	420.825	15.1602	1 179.150	Acceptee
#110	11:31:02	77.8397	52.1666	67.0179	0.451311	422.434	15.1714	1 179.250	Acceptee
#111	11:32:40	77.4921	51.8058	66.8530	0.451311	419.530	15.1341	1 179.200	Acceptee
#112	11:34:20	80.4244	64.9274	80.7310	0.468053	525.960	17.6221	1 178.820	Acceptee
#113	11:36:00	80.6949	65.4049	81.0521	0.469447	529.731	17.6396	1 179.040	Acceptee
#114	11:37:46	80.1952	64.9788	81.0259	0.469447	526.246	17.6339	1 179.110	Acceptee
#115	11:39:26	81.6612	77.7575	95.2197	0.484096	629.718	20.0959	1 179.150	Acceptee
#116	11:41:06	81.7596	77.7510	95.0971	0.483399	629.684	20.0989	1 179.110	Acceptee
#117	11:42:46	81.7965	78.2744	95.6941	0.485491	633.817	20.1379	1 179.310	Acceptee
#118	11:44:25	82.5590	91.3436	110.6400	0.499441	739.535	22.6329	1 179.480	Acceptee
#119	11:46:05	82.0909	91.0617	110.9280	0.500837	737.262	22.6285	1 179.470	Acceptee
#120	11:47:44	82.3580	91.2078	110.7460	0.499441	738.709	22.6545	1 179.040	Acceptee
#121	11:49:25	82.8823	104.2880	125.8260	0.512696	844.316	25.0740	1 179.500	Acceptee
#122	11:51:06	82.5574	104.3690	126.4200	0.514090	845.125	25.1239	1 179.290	Acceptee
#123	11:52:45	82.6982	104.5280	126.3970	0.514090	846.269	25.1194	1 179.500	Acceptee
#124	11:54:24	82.7911	118.4940	143.1240	0.528739	959.504	27.6556	1 179.290	Acceptee
#125	11:56:03	82.8020	118.6950	143.3480	0.528739	961.636	27.6989	1 178.670	Acceptee
#126	11:57:43	82.8933	118.5090	142.9650	0.527344	959.607	27.6980	1 179.310	Acceptee
#127	12:01:00	82.5094	129.3740	156.7990	0.536411	1 047.850	29.8646	1 179.010	Acceptee
#128	12:02:40	81.9302	128.7260	157.1160	0.537110	1 042.340	29.8862	1 179.310	Acceptee
#129	12:04:19	82.6672	129.8280	157.0490	0.537110	1 051.320	29.8733	1 179.240	Refusee
#130	12:05:58	82.7156	129.8560	156.9910	0.535714	1 051.180	29.9402	1 179.660	Acceptee
#131	12:12:36	47.4475	34.6777	73.0866	0.494559	240.998	15.0984	1 374.070	Refusee

Mesure de Rendement
95/01/29

N:constant
Moyennes

ETA_01

Point	η	P_{red}	P_{min}	Q	C	H	N
# 1- 3	78.704	8.870	10.760	0.2148	214.347	5.117	395.165
# 4- 6	76.922	13.988	18.186	0.2472	338.013	7.517	395.167
# 7- 9	70.089	19.421	27.710	0.2760	469.155	10.258	395.306
# 10- 12	65.588	24.694	37.651	0.2992	596.580	12.854	395.266
# 13- 15	62.380	29.945	48.004	0.3192	723.543	15.363	395.215
# 16	80.500	8.725	10.839	0.2448	141.048	4.523	590.719
# 17- 19	83.374	9.820	11.779	0.2437	158.428	4.939	591.923
# 20- 22	83.681	16.887	20.181	0.2744	272.389	7.515	592.026
# 23- 25	82.193	24.493	29.800	0.3018	394.996	10.088	592.128
# 26- 28	79.530	32.382	40.717	0.3269	522.297	12.725	592.042
# 29- 31	76.554	40.027	52.286	0.3481	645.424	15.347	592.213
# 32- 34	74.105	47.444	64.022	0.3657	765.116	17.884	592.136
# 35- 37	74.093	47.407	63.984	0.3657	764.222	17.873	592.376
# 38	74.003	47.481	64.161	0.3662	765.856	17.900	592.028
# 39- 41	72.151	54.458	75.477	0.3811	878.497	20.235	591.957
# 42- 44	71.691	9.677	13.498	0.2834	117.250	4.865	788.176
# 45- 47	80.684	18.241	22.608	0.3090	221.008	7.475	788.160
# 48- 50	82.772	27.151	32.802	0.3341	328.681	10.030	788.824
# 51- 53	82.843	36.531	44.097	0.3571	442.387	12.615	788.549
# 54- 56	82.329	46.203	56.121	0.3783	559.673	15.156	788.322
# 57- 59	81.475	55.883	68.590	0.3964	676.935	17.676	788.321
# 60- 62	80.641	65.913	81.736	0.4141	798.174	20.166	788.574
# 63- 65	79.070	75.630	95.649	0.4299	915.661	22.730	788.733
# 66	79.210	75.649	95.504	0.4290	916.727	22.745	788.016
# 67- 68	77.781	85.026	109.316	0.4433	1 029.715	25.194	788.513
# 69- 71	69.438	17.763	25.580	0.3513	172.285	7.439	984.581
# 72- 74	75.818	26.769	35.306	0.3697	259.710	9.757	984.253
# 75- 77	79.577	36.376	45.712	0.3892	352.712	11.999	984.846
# 78- 80	82.086	46.827	57.046	0.4071	454.301	14.315	984.281
# 81- 83	82.661	56.893	68.827	0.4239	551.903	16.589	984.393
# 84- 86	83.067	67.655	81.446	0.4404	655.964	18.895	984.900
# 87- 89	82.670	78.014	94.368	0.4548	756.829	21.199	984.345
# 90- 92	82.356	88.341	107.268	0.4676	857.149	23.438	984.186
# 93- 95	81.964	98.986	120.768	0.4801	960.146	25.698	984.484
# 96- 98	81.186	109.302	134.632	0.4922	1 061.117	27.944	983.640
# 99- 101	68.556	28.101	40.991	0.4164	227.783	10.057	1 178.097
# 102- 104	73.398	39.052	53.205	0.4343	316.287	12.515	1 179.067
# 105	80.254	49.284	61.411	0.4381	400.678	14.323	1 174.590
# 106- 108	74.279	39.717	53.471	0.4329	321.745	12.618	1 178.800
# 109- 111	77.722	51.979	66.877	0.4508	420.930	15.155	1 179.200
# 112- 114	80.438	65.104	80.936	0.4690	527.312	17.632	1 178.990
# 115- 117	81.739	77.928	95.337	0.4843	631.073	20.111	1 179.190
# 118- 120	82.336	91.204	110.771	0.4999	738.502	22.639	1 179.330
# 121- 123	82.713	104.395	126.214	0.5136	845.237	25.106	1 179.430
# 124- 126	82.829	118.566	143.146	0.5283	960.249	27.684	1 179.090
# 127- 129	82.369	129.309	156.988	0.5369	1 047.170	29.875	1 179.187
# 130	82.716	129.856	156.991	0.5357	1 051.180	29.940	1 179.660
# 131	47.448	73.087	34.678	0.4946	240.998	15.098	1 374.070

Mesure de Rendement
95/01/29N:constant
Écart-types %

ETA_01

Point	η	P_{hyd}	P_{me}	Q	C	H	N
# 1- 3	3.73%	0.07%	0.38%	0.32%	0.20%	0.08%	0.13%
# 4- 6	0.69%	1.05%	1.72%	0.81%	0.95%	0.91%	0.10%
# 7- 9	0.55%	0.41%	0.90%	0.53%	0.50%	0.50%	0.14%
# 10- 12	0.54%	0.48%	0.95%	0.40%	0.50%	0.54%	0.13%
# 13- 15	0.38%	0.59%	0.35%	0.13%	0.60%	0.23%	0.09%
# 16							
# 17- 19	0.18%	0.12%	0.08%	0.17%	0.14%	0.09%	0.02%
# 20- 22	0.46%	0.82%	0.99%	0.53%	0.82%	0.46%	0.02%
# 23- 25	0.48%	0.29%	0.67%	0.35%	0.28%	0.31%	0.02%
# 26- 28	0.24%	0.25%	0.49%	0.33%	0.24%	0.24%	0.03%
# 29- 31	0.26%	0.19%	0.42%	0.20%	0.18%	0.21%	0.03%
# 32- 34	0.23%	0.19%	0.42%	0.29%	0.22%	0.14%	0.04%
# 35- 37	0.18%	0.37%	0.45%	0.22%	0.42%	0.26%	0.10%
# 38							
# 39- 41	0.11%	0.33%	0.32%	0.11%	0.35%	0.30%	0.02%
# 42- 44	0.91%	2.37%	1.80%	0.38%	2.42%	1.44%	0.07%
# 45- 47	0.51%	0.29%	0.22%	0.23%	0.28%	0.09%	0.02%
# 48- 50	0.21%	0.12%	0.33%	0.21%	0.16%	0.12%	0.06%
# 51- 53	0.25%	0.29%	0.32%	0.20%	0.31%	0.14%	0.08%
# 54- 56	0.70%	0.11%	0.59%	0.38%	0.09%	0.21%	0.02%
# 57- 59	0.23%	0.17%	0.32%	0.27%	0.20%	0.13%	0.02%
# 60- 62	0.09%	0.29%	0.27%	0.10%	0.31%	0.18%	0.06%
# 63- 65	0.22%	0.36%	0.26%	0.09%	0.39%	0.25%	0.03%
# 66							
# 67- 68	0.01%	0.29%	0.28%	0.11%	0.38%	0.17%	0.09%
# 69- 71	0.79%	1.88%	1.10%	0.30%	1.85%	0.80%	0.04%
# 72- 74	0.08%	0.22%	0.25%	0.19%	0.26%	0.07%	0.10%
# 75- 77	0.28%	0.10%	0.39%	0.31%	0.11%	0.13%	0.02%
# 78- 80	0.20%	0.13%	0.11%	0.10%	0.11%	0.11%	0.07%
# 81- 83	0.08%	0.24%	0.18%	0.09%	0.28%	0.20%	0.09%
# 84- 86	0.19%	0.28%	0.27%	0.09%	0.28%	0.18%	0.01%
# 87- 89	0.26%	0.25%	0.02%	0.00%	0.22%	0.02%	0.08%
# 90- 92	0.11%	0.23%	0.21%	0.09%	0.21%	0.13%	0.07%
# 93- 95	0.13%	0.10%	0.12%	0.08%	0.18%	0.07%	0.08%
# 96- 98	0.25%	0.23%	0.12%	0.08%	0.23%	0.10%	0.01%
# 99- 101	0.34%	1.07%	1.07%	0.17%	1.12%	0.91%	0.07%
# 102- 104	1.37%	1.50%	0.14%	0.09%	1.51%	0.05%	0.01%
# 105							
# 106- 108	0.40%	1.05%	1.19%	0.65%	1.04%	0.55%	0.01%
# 109- 111	0.26%	0.35%	0.19%	0.18%	0.35%	0.13%	0.00%
# 112- 114	0.31%	0.40%	0.22%	0.17%	0.40%	0.05%	0.01%
# 115- 117	0.09%	0.39%	0.33%	0.22%	0.38%	0.12%	0.01%
# 118- 120	0.29%	0.15%	0.13%	0.16%	0.16%	0.06%	0.02%
# 121- 123	0.20%	0.12%	0.27%	0.16%	0.12%	0.11%	0.01%
# 124- 126	0.07%	0.09%	0.13%	0.15%	0.13%	0.09%	0.03%
# 127- 129	0.47%	0.43%	0.11%	0.08%	0.43%	0.04%	0.01%
# 130							
# 131							

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#1	10:57:01	83.5086	43.9480	52.6269	0.374581	524.262	14.3540	800.502	Accepte
#2	10:58:01	83.4884	44.7218	53.5665	0.375977	533.458	14.5560	800.555	Refuse
#3	10:58:56	83.6250	41.1693	49.2308	0.369699	491.012	13.6051	800.669	Refuse
#4	11:01:51	83.2931	51.8714	62.2758	0.389230	619.087	16.3465	800.106	Refuse
#5	11:02:46	82.8507	51.8031	62.5259	0.390626	618.576	16.3535	799.714	Refuse
#6	11:04:31	82.1678	58.3155	70.9713	0.403879	695.183	17.9533	801.044	Accepte
#7	11:05:26	82.6448	59.3791	71.8486	0.402483	707.841	18.2382	801.067	Accepte
#8	11:06:20	82.5415	59.1150	71.6185	0.402483	705.121	18.1798	800.581	Accepte
#9	11:08:06	81.7651	66.6360	81.4969	0.416434	794.567	19.9943	800.848	Refuse
#10	11:09:00	81.8123	67.6066	82.6362	0.417131	806.004	20.2399	800.982	Accepte
#11	11:09:55	82.0558	67.2755	81.9875	0.415737	802.092	20.1484	800.947	Accepte
#12	11:11:40	80.8158	75.0492	92.8645	0.428293	894.846	22.1524	800.883	Accepte
#13	11:12:35	80.6370	75.8267	94.0346	0.429687	903.809	22.3587	801.155	Accepte
#14	11:13:31	80.6525	75.6342	93.7778	0.429687	901.597	22.2977	801.082	Accepte
#15	11:15:25	79.6132	83.2449	104.5620	0.440849	992.597	24.2323	800.859	Accepte
#16	11:16:19	79.4209	82.9637	104.4610	0.441546	989.631	24.1707	800.546	Accepte
#17	11:17:14	79.8987	82.9254	103.7880	0.439453	988.234	24.1294	801.308	Accepte
#18	11:22:13	83.7173	45.0407	53.8009	0.384347	504.957	14.3014	851.769	Refuse
#19	11:23:08	83.8617	42.3375	50.4849	0.378069	474.903	13.6428	851.317	Refuse
#20	11:24:21	83.9909	43.2664	51.5132	0.379464	485.189	13.8694	851.552	Refuse
#21	11:26:06	83.9016	51.0115	60.7992	0.394113	572.771	15.7612	850.468	Refuse
#22	11:27:00	84.2008	51.3711	61.0102	0.393416	576.839	15.8439	850.424	Refuse
#23	11:28:19	83.9789	54.4735	64.8656	0.398996	611.395	16.6096	850.813	Refuse
#24	11:30:04	83.0349	60.6760	73.0729	0.412249	681.138	18.1096	850.655	Accepte
#25	11:30:59	83.2558	61.7271	74.1416	0.412249	692.854	18.3744	850.758	Refuse
#26	11:32:17	83.1963	59.4765	71.4894	0.410156	667.571	17.8076	850.784	Refuse
#27	11:34:04	82.7610	69.1278	83.5270	0.424107	775.113	20.1216	851.646	Accepte
#28	11:34:58	82.7170	69.9886	84.6121	0.424804	784.970	20.3496	851.423	Accepte
#29	11:35:56	82.5639	69.7897	84.5282	0.425503	782.633	20.2960	851.540	Accepte
#30	11:37:44	82.0374	77.8728	94.9236	0.438059	872.809	22.1388	851.997	Accepte
#31	11:39:25	82.1556	77.8022	94.7011	0.436663	872.681	22.1575	851.350	Accepte
#32	11:41:11	81.0531	86.2523	106.4150	0.449916	966.894	24.1647	851.851	Accepte
#33	11:42:05	81.1564	86.1514	106.1550	0.449219	965.912	24.1431	851.719	Accepte
#34	11:42:59	80.9016	86.8022	107.2940	0.450614	973.497	24.3265	851.467	Accepte
#35	11:48:00	83.5965	47.2405	56.5101	0.395507	500.898	14.5977	900.609	Refuse
#36	11:49:12	83.3625	42.7243	51.2512	0.387137	452.990	13.5254	900.653	Refuse
#37	11:50:17	84.1763	47.1636	56.0296	0.392717	499.821	14.5764	901.081	Refuse
#38	11:52:28	83.9136	54.3797	64.8044	0.408064	576.471	16.2251	900.806	Accepte
#39	11:53:23	83.9973	54.3390	64.6913	0.407366	575.906	16.2246	901.014	Accepte
#40	11:54:18	84.1838	54.8968	65.2107	0.407366	581.933	16.3548	900.835	Refuse
#41	11:56:04	83.6480	62.5202	74.7419	0.420620	662.805	18.1546	900.753	Accepte
#42	11:56:58	83.9372	62.5828	74.5591	0.419921	663.111	18.1403	901.239	Accepte
#43	11:58:12	83.8718	63.3527	75.5352	0.421317	671.503	18.3169	900.926	Accepte
#44	11:59:58	83.2799	71.2434	85.5470	0.433873	754.992	20.1444	901.102	Accepte
#45	12:00:53	83.3217	70.4426	84.5429	0.432477	746.682	19.9722	900.888	Refuse
#46	12:01:47	83.3501	72.3906	86.8512	0.434570	767.141	20.4187	901.110	Refuse
#47	12:03:39	82.7805	80.5942	97.3590	0.446429	853.964	22.2811	901.230	Accepte
#48	12:04:33	82.8261	80.2680	96.9115	0.445731	850.900	22.2133	900.814	Accepte
#49	12:05:54	82.8584	79.9256	96.4605	0.445731	846.923	22.1099	901.184	Accepte

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#50	12:07:40	82.3762	88.5352	107.4770	0.456891	938.227	24.0333	901.113	Accepte
#51	12:08:34	82.3929	88.3562	107.2380	0.456194	936.509	24.0165	900.940	Refuse
#52	12:09:29	82.2019	88.7583	107.9760	0.457590	940.655	24.1080	901.052	Accepte
#53	12:14:26	83.2733	46.6137	55.9767	0.401786	468.227	14.2339	950.666	Accepte
#54	12:15:20	83.1182	45.7587	55.0525	0.399693	459.785	14.0722	950.364	Accepte
#55	12:16:36	83.0759	46.7022	56.2164	0.401786	469.351	14.2949	950.191	Accepte
#56	12:18:23	84.0255	55.7034	66.2935	0.416434	559.026	16.2643	951.527	Accepte
#57	12:19:17	84.1937	55.8226	66.3026	0.415737	560.248	16.2938	951.483	Accepte
#58	12:20:12	83.9915	55.5766	66.1693	0.416434	557.796	16.2338	951.454	Accepte
#59	12:21:57	83.9986	63.2166	75.2591	0.428990	634.772	17.9235	951.009	Refuse
#60	12:22:52	84.1302	64.7213	76.9300	0.429687	650.204	18.2917	950.537	Accepte
#61	12:23:46	83.8723	64.4547	76.8485	0.430386	647.727	18.2427	950.241	Accepte
#62	12:25:32	83.7288	73.5239	87.8119	0.443639	737.793	20.2225	951.624	Accepte
#63	12:26:27	83.6305	73.3428	87.6986	0.443639	736.076	20.1965	951.495	Accepte
#64	12:27:21	83.5002	73.7213	88.2887	0.445033	739.555	20.2686	951.905	Accepte
#65	12:29:07	83.4523	83.1716	99.6636	0.455497	834.931	22.3544	951.252	Refuse
#66	12:30:02	83.3550	82.2221	98.6409	0.454799	825.957	22.1590	950.610	Accepte
#67	12:30:56	83.1329	82.8005	99.6002	0.456194	831.885	22.3060	950.476	Accepte
#68	12:32:53	82.7924	91.9815	111.0990	0.467354	923.920	24.2871	950.687	Accepte
#69	12:33:47	82.9801	92.0496	110.9300	0.466657	924.328	24.2863	950.971	Accepte
#70	12:34:42	82.9497	91.7634	110.6250	0.466657	921.736	24.2197	950.681	Accepte
#71	12:36:28	82.4675	100.4290	121.7800	0.477120	1 008.680	26.0772	950.774	Accepte
#72	12:37:27	82.3975	100.6380	122.1370	0.477120	1 010.860	26.1537	950.698	Accepte
#73	12:38:22	82.3679	101.1320	122.7810	0.477819	1 015.970	26.2530	950.555	Accepte
#74	12:40:07	82.7857	47.3033	57.1394	0.410854	451.341	14.2089	1 000.830	Accepte
#75	12:41:08	82.8467	47.0001	56.7314	0.410156	448.365	14.1314	1 001.010	Accepte
#76	12:43:41	83.7107	55.8345	66.6994	0.423410	533.173	16.0943	1 000.010	Accepte
#77	12:44:35	83.6325	56.0670	67.0397	0.424107	535.473	16.1498	999.864	Accepte
#78	12:45:30	83.6917	56.3285	67.3048	0.424804	537.860	16.1871	1 000.070	Accepte
#79	12:47:15	84.1983	64.9019	77.0822	0.436663	619.371	18.0351	1 000.640	Refuse
#80	12:48:10	84.2576	67.7587	80.4185	0.440849	646.422	18.6371	1 000.970	Refuse
#81	12:49:13	84.0621	65.3589	77.7507	0.438756	623.527	18.1048	1 000.970	Accepte
#82	12:50:59	84.2153	74.0655	87.9477	0.449916	706.723	19.9712	1 000.780	Refuse
#83	12:51:54	84.1015	76.6304	91.1166	0.453404	731.202	20.5316	1 000.770	Refuse
#84	12:52:50	83.9483	75.1342	89.5005	0.452707	716.845	20.1985	1 000.880	Accepte
#85	12:54:35	83.9265	83.9679	100.0490	0.463170	801.145	22.0691	1 000.860	Refuse
#86	12:55:30	83.7554	84.6260	101.0390	0.464564	807.290	22.2206	1 001.030	Accepte
#87	12:56:36	83.8560	84.1738	100.3790	0.463867	803.112	22.1086	1 000.860	Accepte
#88	12:58:22	83.5017	93.8147	112.3510	0.475029	895.157	24.1639	1 000.790	Accepte
#89	12:59:16	83.0493	93.9646	113.1430	0.477819	896.475	24.1923	1 000.920	Accepte
#90	13:00:11	83.2932	94.1323	113.0130	0.477120	897.911	24.1999	1 001.100	Accepte
#91	13:02:01	83.2451	103.1850	123.9530	0.485491	983.966	26.0847	1 001.400	Accepte
#92	13:02:56	82.7693	104.1870	125.8760	0.488281	993.911	26.3382	1 001.010	Accepte
#93	13:03:50	83.0088	103.8190	125.0690	0.486886	990.387	26.2443	1 001.020	Accepte
#94	13:05:35	81.8248	46.7061	57.0805	0.418527	424.558	13.9340	1 050.530	Refuse
#95	13:06:34	80.8709	43.9484	54.3439	0.414341	399.622	13.4000	1 050.180	Refuse
#96	13:07:41	82.4556	49.5579	60.1026	0.422014	450.538	14.5505	1 050.400	Refuse
#97	13:09:28	82.9064	55.8233	67.3330	0.431780	507.689	15.9322	1 050.000	Refuse
#98	13:10:28	82.5315	53.2076	64.4694	0.428990	483.727	15.3539	1 050.380	Refuse
#99	13:11:32	83.4307	58.7226	70.3849	0.435269	533.825	16.5209	1 050.460	Refuse

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#100	13:14:06	83.3879	63.4288	76.0648	0.444336	576.689	17.4898	1 050.310	Refuse
#101	13:15:18	83.5606	64.3025	76.9531	0.445033	584.565	17.6663	1 050.430	Refuse
#102	13:17:09	84.1215	78.5989	93.4350	0.463170	714.261	20.6101	1 050.830	Refuse
#103	13:18:07	84.1240	78.8277	93.7042	0.463867	716.408	20.6384	1 050.730	Refuse
#104	13:19:01	83.9686	76.1561	90.6959	0.461077	692.213	20.0967	1 050.600	Accepte
#105	13:20:47	84.0607	85.9539	102.2520	0.473633	780.916	22.0568	1 051.070	Refuse
#106	13:21:44	83.8861	81.9607	97.7047	0.470146	744.974	21.2322	1 050.600	Refuse
#107	13:23:00	83.8648	87.9992	104.9300	0.475726	799.648	22.5348	1 050.880	Refuse
#108	13:24:46	83.8067	97.4764	116.3110	0.485491	886.187	24.4766	1 050.380	Refuse
#109	13:25:40	83.7700	96.2966	114.9540	0.485491	875.314	24.1909	1 050.550	Accepte
#110	13:26:36	83.6024	96.2419	115.1190	0.486189	874.839	24.1909	1 050.530	Accepte
#111	13:28:22	83.4287	105.3390	126.2620	0.495257	957.918	26.0468	1 050.100	Refuse
#112	13:29:18	83.3655	106.7800	128.0870	0.496651	970.907	26.3490	1 050.230	Refuse
#113	13:30:13	83.6454	105.7870	126.4700	0.495257	961.470	26.0897	1 050.670	Accepte
#114	13:32:00	80.2172	48.1562	60.0322	0.430386	418.299	14.2508	1 099.350	Accepte
#115	13:32:55	79.9983	46.9580	58.6988	0.428293	407.801	14.0023	1 099.600	Refuse
#116	13:33:49	81.1371	49.6153	61.1499	0.430386	430.796	14.5161	1 099.800	Refuse
#117*	13:35:35	44.0746	3.4518	7.8317	0.200196	149.780	3.9968	220.070	Refuse
#118*	15:21:25	80.4069	48.6758	60.5369	0.430386	422.372	14.3706	1 100.500	Refuse
#119*	15:22:20	79.8253	46.1290	57.7874	0.426200	400.224	13.8526	1 100.630	Refuse
#120	15:24:53	81.5763	54.6345	66.9734	0.440150	474.087	15.5458	1 100.480	Refuse
#121	15:25:48	82.4784	59.5178	72.1617	0.445731	516.390	16.5404	1 100.630	Refuse
#122	15:27:37	83.3681	69.5880	83.4708	0.458984	604.100	18.5801	1 100.010	Refuse
#123	15:28:32	82.6380	64.7352	78.3359	0.454101	562.154	17.6246	1 099.660	Refuse
#124	15:29:32	82.4713	62.7701	76.1114	0.452009	545.084	17.2034	1 099.670	Refuse
#125	15:31:33	83.8202	79.9793	95.4177	0.472237	693.838	20.6434	1 100.760	Refuse
#126	15:32:29	83.8056	79.9686	95.4215	0.472237	693.591	20.6442	1 101.000	Refuse
#127	15:33:24	83.4910	75.9535	90.9721	0.468750	658.958	19.8280	1 100.680	Refuse
#128	15:35:10	83.7786	86.4709	103.2140	0.481306	751.051	21.9092	1 099.440	Refuse
#129	15:39:22	84.0424	99.9826	118.9670	0.495954	866.832	24.5073	1 101.440	Refuse
#130	15:40:16	83.8210	97.7364	116.6010	0.494559	848.031	24.0878	1 100.570	Accepte
#131	15:42:03	84.0569	108.9390	129.6010	0.504324	944.601	26.2549	1 101.300	Accepte
#132	15:42:57	83.7821	108.2230	129.1720	0.505023	938.701	26.1318	1 100.940	Accepte
#133	15:43:52	83.7531	109.4880	130.7270	0.505720	949.724	26.4098	1 100.880	Refuse
#134	15:45:39	76.4636	43.2908	56.6163	0.435269	359.601	13.2891	1 149.600	Refuse
#135	15:46:53	78.2322	46.5513	59.5039	0.436663	386.458	13.9223	1 150.270	Refuse
#136	15:47:48	76.6990	42.9601	56.0113	0.433176	356.746	13.2106	1 149.950	Refuse
#137	15:49:34	79.8058	53.3231	66.8160	0.447126	442.753	15.2673	1 150.070	Refuse
#138	15:50:47	80.2831	55.2546	68.8247	0.449916	458.737	15.6288	1 150.210	Refuse
#139	15:51:51	81.7086	59.8010	73.1880	0.453404	496.366	16.4917	1 150.480	Refuse
#140	15:53:38	82.7607	70.4423	85.1156	0.468053	584.869	18.5792	1 150.130	Refuse
#141	15:54:44	82.2641	66.6519	81.0218	0.465263	553.383	17.7916	1 150.160	Refuse
#142	15:55:39	81.6925	63.7030	77.9790	0.462471	528.961	17.2268	1 150.030	Refuse
#143	15:57:25	83.6290	81.0111	96.8697	0.481306	672.160	20.5626	1 150.920	Refuse
#144	15:58:20	82.9400	76.3753	92.0850	0.477819	633.963	19.6896	1 150.430	Refuse
#145	15:59:15	83.2227	77.6495	93.3033	0.477819	644.757	19.9501	1 150.040	Refuse

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#146	16:01:05	83.2136	85.9608	103.3010	0.489676	713.726	21.5531	1 150.110	Refuse
#147	16:02:08	83.6750	90.8178	108.5360	0.493164	753.916	22.4851	1 150.320	Refuse
#148	16:03:14	83.5345	87.4524	104.6900	0.490374	725.858	21.8117	1 150.510	Refuse
#149	16:04:59	83.9142	99.8525	118.9940	0.503627	828.808	24.1394	1 150.470	Accepte
#150	16:05:54	83.8414	99.6589	118.8660	0.503627	827.224	24.1135	1 150.440	Accepte
#151	16:06:48	83.9374	100.2240	119.4040	0.503627	831.990	24.2225	1 150.340	Accepte
#152	16:08:33	83.6467	110.9640	132.6580	0.516880	921.002	26.2213	1 150.510	Accepte
#153	16:09:28	84.0839	110.5670	131.4960	0.514090	917.675	26.1327	1 150.550	Accepte
#154	16:10:23	84.0184	112.6140	134.0350	0.515486	934.837	26.5653	1 150.350	Refuse
#155	16:12:11	76.8336	49.6517	64.6224	0.454101	395.035	14.5393	1 200.250	Refuse
#156	16:13:06	76.8782	49.7616	64.7279	0.453404	396.021	14.5854	1 199.910	Refuse
#157	16:14:02	77.1632	50.0787	64.8997	0.453404	398.462	14.6241	1 200.160	Refuse
#158	16:16:04	79.8559	59.8364	74.9305	0.463867	476.513	16.5035	1 199.120	Refuse
#159	16:17:03	80.2420	60.5837	75.5012	0.463867	482.316	16.6292	1 199.490	Refuse
#160	16:17:58	79.9261	59.8215	74.8461	0.463867	476.248	16.4849	1 199.490	Refuse
#161	16:19:46	81.3770	68.9327	84.7078	0.476423	548.878	18.1653	1 199.280	Accepte
#162	16:20:41	81.4843	68.6808	84.2872	0.475726	546.805	18.1016	1 199.430	Accepte
#163	16:21:35	81.3980	68.1623	83.7395	0.475029	542.604	18.0104	1 199.590	Accepte
#164	16:23:21	82.3277	78.8718	95.8023	0.488979	627.594	20.0169	1 200.090	Accepte
#165	16:24:16	82.7669	82.1957	99.3098	0.491071	654.001	20.6614	1 200.170	Refuse
#166	16:25:13	82.5036	81.6125	98.9199	0.491769	649.318	20.5511	1 200.250	Refuse
#167	16:27:00	83.2760	89.8126	107.8490	0.500140	714.441	22.0312	1 200.450	Accepte
#168	16:27:55	83.0116	90.0054	108.4250	0.501534	716.104	22.0872	1 200.230	Accepte
#169	16:28:49	83.3257	90.2170	108.2700	0.500837	717.601	22.0864	1 200.540	Accepte
#170	16:30:36	83.5381	101.5160	121.5210	0.513393	807.748	24.1832	1 200.140	Accepte
#171	16:31:30	83.5266	100.3650	120.1590	0.511997	798.494	23.9773	1 200.280	Accepte
#172	16:32:25	83.4358	102.1000	122.3690	0.514090	812.562	24.3190	1 199.890	Accepte
#173	16:34:11	84.1848	113.0230	134.2560	0.522461	899.677	26.2537	1 199.640	Accepte
#174	16:35:05	83.6734	111.6760	133.4670	0.523856	889.330	26.0299	1 199.140	Accepte
#175	16:36:00	83.9973	113.0770	134.6200	0.523159	900.322	26.2898	1 199.360	Accepte
#176	16:37:47	75.2999	49.7604	66.0830	0.463867	380.311	14.5549	1 249.440	Refuse
#177	16:38:42	75.4189	49.6278	65.8028	0.463170	379.252	14.5150	1 249.590	Refuse
#178	16:39:41	75.8190	50.4696	66.5658	0.463170	385.618	14.6833	1 249.810	Refuse
#179	16:41:29	78.2240	60.3295	77.1240	0.475029	461.208	16.5875	1 249.120	Refuse
#180	16:42:25	78.2193	60.1857	76.9448	0.475029	460.099	16.5490	1 249.150	Refuse
#181	16:43:21	78.2680	60.5116	77.3133	0.475029	462.667	16.6282	1 248.940	Refuse
#182	16:45:12	80.2593	71.1198	88.6125	0.488281	543.756	18.5411	1 248.990	Refuse
#183	16:46:07	79.2705	66.1053	83.3921	0.482701	505.599	17.6505	1 248.540	Refuse
#184	16:47:02	79.3886	66.1382	83.3094	0.482701	505.900	17.6330	1 248.420	Refuse
#185	16:48:51	82.0828	82.2920	100.2550	0.500140	628.823	20.4798	1 249.680	Refuse
#186	16:50:05	81.4972	79.6172	97.6931	0.498744	608.507	20.0123	1 249.430	Refuse
#187	16:51:00	81.8941	81.2856	99.2570	0.500140	620.966	20.2759	1 250.020	Accepte
#188	16:52:45	82.5204	92.3765	111.9440	0.511997	705.817	22.3380	1 249.800	Refuse
#189	16:53:40	82.3021	91.7410	111.4690	0.511997	701.219	22.2432	1 249.340	Accepte
#190	16:54:35	82.1485	89.7281	109.2270	0.510603	685.722	21.8553	1 249.540	Refuse
#191	16:56:23	82.6763	100.9190	122.0660	0.523159	771.638	23.8381	1 248.910	Refuse
#192	16:57:19	82.7807	96.7728	116.9030	0.516880	740.195	23.1071	1 248.470	Refuse
#193	16:58:37	82.9915	100.4360	121.0200	0.520369	768.205	23.7606	1 248.490	Refuse
#194	17:00:24	83.3238	109.3050	131.1810	0.529436	835.306	25.3145	1 249.580	Refuse
#195	17:01:35	83.6632	115.9340	138.5720	0.533621	885.985	26.5310	1 249.550	Refuse
#196	17:02:30	83.3366	110.2210	132.2600	0.530831	842.117	25.4555	1 249.860	Refuse

Mesure de Rendement
95/03/03

N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#197	17:04:20	73.6321	50.0498	67.9729	0.475029	368.071	14.6193	1 298.500	Refuse
#198	17:05:18	73.9265	50.2093	67.9179	0.474330	369.222	14.6290	1 298.580	Refuse
#199	17:06:15	73.7018	49.8363	67.6188	0.474330	366.414	14.5646	1 298.810	Refuse
#200	17:08:02	76.3161	58.8417	77.1026	0.483399	432.768	16.2958	1 298.380	Refuse
#201	17:08:57	76.4354	59.1306	77.3602	0.484096	434.693	16.3267	1 298.980	Refuse
#202	17:09:55	76.5252	60.6559	79.2627	0.486189	446.038	16.6562	1 298.590	Refuse
#203	17:11:45	77.9545	67.3190	86.3567	0.493861	495.026	17.8650	1 298.620	Refuse
#204	17:12:41	78.2234	67.8955	86.7969	0.493164	499.377	17.9814	1 298.330	Refuse
#205	17:13:56	77.6224	66.1057	85.1632	0.493164	486.088	17.6430	1 298.660	Refuse
#206	17:15:43	79.5184	76.8611	96.6583	0.505720	565.186	19.5272	1 298.630	Refuse
#207	17:16:40	79.5530	76.2932	95.9024	0.504324	561.027	19.4281	1 298.600	Refuse
#208	17:17:56	80.9408	82.9157	102.4400	0.509207	609.546	20.5535	1 298.980	Refuse
#209	17:19:42	81.8395	92.5915	113.1380	0.520369	680.961	22.2131	1 298.430	Accepte
#210	17:20:36	81.8501	92.6662	113.2140	0.521066	681.446	22.1984	1 298.560	Accepte
#211	17:21:30	81.5605	90.6894	111.1930	0.519671	666.884	21.8605	1 298.610	Refuse
#212	17:23:16	82.4613	102.6670	124.5040	0.530831	754.525	23.9628	1 299.360	Refuse
#213	17:24:13	82.4554	100.4290	121.7970	0.528739	738.028	23.5347	1 299.440	Refuse
#214	17:25:19	82.7494	105.9280	128.0100	0.532924	778.325	24.5409	1 299.630	Refuse
#215	17:27:05	83.2795	116.4800	139.8670	0.542690	856.343	26.3314	1 298.900	Accepte
#216	17:28:05	83.3645	117.4810	140.9250	0.543387	863.837	26.4966	1 298.700	Refuse
#217	17:29:14	82.9593	114.6270	138.1730	0.542690	842.982	26.0125	1 298.500	Accepte

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
07/03/95									
Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	w	
#1	11:22:31	81.1891	73.8928	91.0132	0.428293	881.368	21.7108	800.602	Accepte
#2	11:26:00	79.7472	88.0718	110.4390	0.446429	1 049.850	25.2744	801.088	Accepte
#3	11:26:55	79.7691	88.0861	110.4260	0.446429	1 050.130	25.2716	801.003	Accepte
#4	11:27:50	79.7839	87.9969	110.2940	0.446429	1 049.150	25.2413	800.938	Accepte
#5	11:33:45	80.8150	90.6648	112.1880	0.455497	1 022.770	25.1636	846.513	Refuse
#6	11:34:39	81.2682	91.2807	112.3200	0.454799	1 024.760	25.2319	850.605	Accepte
#7	11:35:34	81.2292	91.3515	112.4610	0.454799	1 025.430	25.2636	850.711	Accepte
#8	11:40:28	81.3328	93.9279	115.4860	0.458287	1 047.310	25.7456	856.427	Refuse
#9	11:47:14	81.4024	98.7259	121.2810	0.470146	1 046.610	26.3556	900.779	Accepte
#10	11:48:08	81.5172	98.4057	120.7180	0.469447	1 043.120	26.2722	900.864	Accepte
#11	11:49:02	81.5904	98.2702	120.4430	0.469447	1 041.770	26.2125	900.782	Accepte
#12	11:56:53	82.4093	104.7210	127.0740	0.480609	1 052.220	27.0133	950.388	Accepte
#13	11:57:48	82.2670	105.0980	127.7520	0.482003	1 053.510	27.0789	952.632	Refuse
#14	11:58:42	82.1432	105.1570	128.0160	0.482701	1 055.620	27.0956	951.261	Refuse
#15	12:02:37	82.6999	107.3130	129.7620	0.491071	1 025.670	26.9969	999.114	Accepte
#16	12:03:31	82.8659	106.8540	128.9480	0.490374	1 019.470	26.8656	1 000.890	Accepte
#17	12:04:25	82.8903	107.1230	129.2350	0.490374	1 022.080	26.9255	1 000.850	Refuse
07/03/95									
Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	w	
#1	16:25:20	82.1211	113.1220	137.7500	0.499441	1 079.520	28.1786	1 000.660	Accepte
#2	16:26:15	82.6205	112.9540	136.7140	0.496651	1 078.130	28.1238	1 000.470	Accepte
#3	16:27:09	79.9729	105.2090	131.5550	0.480609	1 114.710	27.9659	901.283	Refuse
#4	16:50:32	82.2415	120.0930	146.0250	0.502930	1 147.180	29.6640	999.674	Accepte
#5	16:51:27	82.1369	120.1520	146.2820	0.503627	1 147.340	29.6752	1 000.020	Accepte
#6	16:52:37	82.3798	120.0570	145.7360	0.502233	1 146.040	29.6464	1 000.360	Accepte
#7	16:54:35	82.3940	117.5250	142.6370	0.499441	1 121.750	29.1783	1 000.470	Accepte
#8	16:55:30	82.3817	117.2350	142.3070	0.499441	1 119.430	29.1107	1 000.070	Accepte
#9	16:56:24	82.3431	117.2120	142.3450	0.500140	1 118.870	29.0779	1 000.370	Accepte
#10	16:58:53	83.1409	116.1060	139.6500	0.504324	1 055.480	28.2906	1 050.450	Accepte
#11	16:59:47	82.8706	115.6250	139.5250	0.505720	1 051.650	28.1873	1 049.920	Accepte
#12	17:00:42	82.9721	115.5670	139.2840	0.505023	1 051.350	28.1774	1 049.680	Accepte
#13	17:02:41	82.8518	120.1100	144.9700	0.508510	1 092.770	29.1266	1 049.600	Accepte
#14	17:03:38	82.7493	120.3780	145.4730	0.509207	1 095.010	29.1876	1 049.780	Accepte
#15	17:04:32	82.8897	120.5580	145.4440	0.508510	1 096.660	29.2219	1 049.780	Accepte
#16	17:08:22	82.7659	124.0620	149.8950	0.511997	1 128.240	29.9111	1 050.050	Accepte
#17	17:09:17	82.6476	124.2380	150.3220	0.512696	1 129.630	29.9554	1 050.240	Accepte
#18	17:10:32	82.4109	124.0620	150.5400	0.514090	1 128.730	29.9175	1 049.590	Accepte
#19	17:12:41	83.2757	118.5470	142.3550	0.514789	1 029.790	28.2524	1 099.290	Accepte
#20	17:13:35	83.7612	118.7030	141.7160	0.513393	1 029.920	28.2021	1 100.600	Accepte
#21	17:14:30	83.6845	118.4730	141.5710	0.513393	1 028.190	28.1732	1 100.310	Accepte
#22	17:16:27	83.2497	123.3370	148.1530	0.518276	1 071.990	29.2053	1 098.690	Accepte
#23	17:17:26	83.3002	123.2660	147.9780	0.518276	1 071.220	29.1708	1 098.850	Accepte
#24	17:18:20	83.3038	123.1450	147.8260	0.518276	1 069.990	29.1408	1 099.020	Accepte

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Points

ETA_02

Point	Heure	Rendement	Pm	Ph	Q	C	H	N	
#25	17:20:19	83.2241	128.4960	154.3980	0.522461	1115.330	30.1925	1100.170	Accepte
#26	17:21:13	82.7390	128.3120	155.0800	0.525251	1114.150	30.1648	1099.750	Accepte
#27	17:22:08	83.1442	128.7880	154.8970	0.523159	1117.490	30.2497	1100.530	Accepte
#28	17:26:42	83.5647	121.2420	145.0880	0.525949	1006.500	28.1838	1150.310	Accepte
#29	17:27:37	83.7291	121.9740	145.6770	0.524554	1012.620	28.3734	1150.250	Accepte
#30	17:28:31	83.7157	121.6410	145.3020	0.524554	1009.790	28.3005	1150.320	Accepte
#31	17:30:36	83.6470	126.1560	150.8190	0.528041	1048.120	29.1810	1149.390	Accepte
#32	17:31:30	83.6182	126.0670	150.7650	0.529436	1046.810	29.0936	1150.010	Accepte
#33	17:32:25	83.7398	125.7320	150.1460	0.528041	1044.490	29.0508	1149.520	Accepte
#34	17:34:22	83.6476	131.3560	157.0350	0.531529	1091.370	30.1843	1149.340	Accepte
#35	17:35:17	83.7933	131.2670	156.6550	0.531529	1090.060	30.1114	1149.940	Accepte
#36	17:36:12	83.4447	131.8220	157.9750	0.533621	1094.800	30.2459	1149.800	Accepte
#37	17:41:40	84.0448	123.0290	146.3850	0.532227	980.407	28.1002	1198.320	Accepte
#38	17:42:43	83.9376	124.0250	147.7580	0.533621	988.118	28.2898	1198.590	Accepte
#39	17:43:37	83.7332	123.7070	147.7400	0.535017	985.551	28.2125	1198.640	Accepte
#40	17:45:23	83.9709	128.6270	153.1810	0.537807	1023.940	29.0997	1199.580	Accepte
#41	17:46:17	83.9711	128.9290	153.5400	0.537807	1026.260	29.1681	1199.680	Accepte
#42	17:47:12	83.9281	128.7430	153.3970	0.537807	1025.100	29.1408	1199.310	Accepte
#43	17:48:58	83.8766	132.5250	158.0000	0.541294	1054.870	29.8220	1199.700	Refuse
#44	17:49:52	83.8406	132.6410	158.2060	0.540597	1056.110	29.8994	1199.330	Refuse
#45	17:50:47	83.7064	133.2220	159.1540	0.541993	1060.480	30.0010	1199.620	Refuse
#46	17:52:33	83.3816	125.0920	150.0240	0.545480	956.625	28.0991	1248.700	Accepte
#47	17:53:28	83.9301	125.7840	149.8670	0.543387	961.600	28.1779	1249.110	Accepte
#48	17:54:22	83.8409	124.6060	148.6220	0.542690	952.762	27.9797	1248.900	Accepte
#49	17:56:08	84.0949	130.2010	154.8260	0.546177	996.061	28.9615	1248.240	Accepte
#50	17:57:02	83.9292	130.6420	155.6580	0.546876	999.610	29.0799	1248.030	Accepte
#51	17:58:16	83.8860	130.9650	156.1220	0.547573	1001.960	29.1296	1248.180	Accepte
#52	18:03:51	83.6185	126.7080	151.5310	0.552456	932.115	28.0231	1298.090	Accepte
#53	18:04:46	83.1622	127.5720	153.4010	0.555246	938.795	28.2263	1297.640	Accepte
#54	18:06:32	83.5451	132.0680	158.0800	0.557339	971.012	28.9780	1298.800	Accepte
#55	18:07:26	83.2904	132.9660	159.6420	0.558733	977.833	29.1914	1298.520	Accepte
#56	18:08:21	83.6158	133.1180	159.2020	0.557339	978.889	29.1838	1298.600	Accepte

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Moyennes

ETA_02

Date	Points	η	P_m	P_h	Q	C	H	N
03/03/95	# 1- 3	83.541	43.280	51.808	0.3734	516.244	14.172	800.575
	# 4- 5	83.072	51.837	62.401	0.3899	618.832	16.350	799.910
	# 6- 8	82.451	58.937	71.479	0.4029	702.715	18.124	800.897
	# 9- 11	81.878	67.173	82.040	0.4164	800.888	20.128	800.926
	# 12- 14	80.702	75.503	93.559	0.4292	900.084	22.270	801.040
	# 15- 17	79.644	83.045	104.270	0.4406	990.154	24.177	800.904
	# 18- 20	83.857	43.548	51.933	0.3806	488.350	13.938	851.546
	# 21- 23	84.027	52.285	62.225	0.3955	587.002	16.072	850.568
	# 24- 26	83.162	60.627	72.901	0.4116	680.521	18.097	850.732
	# 27- 29	82.681	69.635	84.222	0.4248	780.905	20.256	851.536
	# 30- 31	82.097	77.838	94.812	0.4374	872.745	22.148	851.674
	# 32- 34	81.037	86.402	106.621	0.4499	968.768	24.211	851.679
	# 35- 37	83.712	45.709	54.597	0.3918	484.570	14.233	900.781
	# 38- 40	84.032	54.539	64.902	0.4076	578.103	16.268	900.885
	# 41- 43	83.819	62.819	74.945	0.4206	665.806	18.204	900.973
	# 44- 46	83.317	71.359	85.647	0.4336	756.272	20.178	901.033
	# 47- 49	82.822	80.263	96.910	0.4460	850.596	22.201	901.076
	# 50- 52	82.324	88.550	107.564	0.4569	938.464	24.053	901.035
	# 53- 55	83.156	46.358	55.749	0.4011	465.788	14.200	950.407
	# 56- 58	84.070	55.701	66.255	0.4162	559.023	16.264	951.488
	# 59- 61	84.000	64.131	76.346	0.4297	644.234	18.153	950.596
	# 62- 64	83.620	73.529	87.933	0.4441	737.808	20.229	951.675
	# 65- 67	83.313	82.731	99.302	0.4555	830.924	22.273	950.779
	# 68- 70	82.907	91.932	110.885	0.4669	923.328	24.264	950.780
	# 71- 73	82.411	100.733	122.233	0.4774	1 011.837	26.161	950.676
	# 74- 75	82.816	47.152	56.935	0.4105	449.853	14.170	1 000.920
	# 76- 78	83.678	56.077	67.015	0.4241	535.502	16.144	999.981
	# 79- 81	84.173	66.007	78.417	0.4388	629.773	18.259	1 000.860
	# 82- 84	84.088	75.277	89.522	0.4520	718.257	20.234	1 000.810
	# 85- 87	83.846	84.256	100.489	0.4639	803.849	22.133	1 000.917
	# 88- 90	83.281	93.971	112.836	0.4767	896.514	24.185	1 000.937
	# 91- 93	83.008	103.730	124.966	0.4869	989.421	26.222	1 001.143
	# 94- 96	81.717	46.737	57.176	0.4183	424.906	13.962	1 050.370
	# 97- 99	82.956	55.918	67.396	0.4320	508.414	15.936	1 050.280
	# 100- 101	83.474	63.866	76.509	0.4447	580.627	17.578	1 050.370
	# 102- 104	84.071	77.861	92.612	0.4627	707.627	20.448	1 050.720
	# 105- 107	83.937	85.305	101.629	0.4732	775.179	21.941	1 050.850
	# 108- 110	83.726	96.672	115.461	0.4857	878.780	24.286	1 050.487
	# 111- 113	83.480	105.969	126.940	0.4957	963.432	26.162	1 050.333
	# 114- 116	80.451	48.243	59.960	0.4297	418.965	14.256	1 099.583
	# 117- 119	68.102	32.752	42.052	0.3523	324.125	10.740	807.067
	# 120- 121	82.027	57.076	69.568	0.4429	495.239	16.043	1 100.555
	# 122- 124	82.826	65.698	79.306	0.4550	570.446	17.803	1 099.780
	# 125- 127	83.706	78.634	93.937	0.4711	682.129	20.372	1 100.813
	# 128	83.779	86.471	103.214	0.4813	751.051	21.909	1 099.440
	# 129- 130	83.932	98.860	117.784	0.4953	857.432	24.298	1 101.005
	# 131- 133	83.864	108.883	129.833	0.5050	944.342	26.266	1 101.040
	# 134- 136	77.132	44.267	57.377	0.4350	367.602	13.474	1 149.940
	# 137- 139	80.599	56.126	69.610	0.4501	465.952	15.796	1 150.253

Mesure de Rendement
95/03/03

N:constant
Moyennes

ETA_02

Date	Points	η	P_m	P_h	Q	C	H	N
# 140- 142	82.239	66.932	81.372	0.4653	555.738	17.866	1 150.107	
# 143- 145	83.264	78.345	94.086	0.4790	650.293	20.067	1 150.463	
# 146- 148	83.474	88.077	105.509	0.4911	731.167	21.950	1 150.313	
# 149- 151	83.898	99.912	119.088	0.5036	829.341	24.158	1 150.417	
# 152- 154	83.916	111.382	132.730	0.5155	924.505	26.306	1 150.470	
# 155- 157	76.958	49.831	64.750	0.4536	396.506	14.583	1 200.107	
# 158- 160	80.008	60.081	75.093	0.4639	478.359	16.539	1 199.367	
# 161- 163	81.420	68.592	84.245	0.4757	546.096	18.092	1 199.433	
# 164- 166	82.533	80.893	98.011	0.4906	643.638	20.410	1 200.170	
# 167- 169	83.204	90.012	108.181	0.5008	716.049	22.068	1 200.407	
# 170- 172	83.500	101.327	121.350	0.5132	806.268	24.160	1 200.103	
# 173- 175	83.952	112.592	134.114	0.5232	896.443	26.191	1 199.380	
# 176- 178	75.513	49.953	66.151	0.4634	381.727	14.584	1 249.613	
# 179- 181	78.237	60.342	77.127	0.4750	461.325	16.588	1 249.070	
# 182- 184	79.639	67.788	85.105	0.4846	518.418	17.942	1 248.650	
# 185- 187	81.825	81.065	99.068	0.4997	619.432	20.256	1 249.710	
# 188- 190	82.324	91.282	110.880	0.5115	697.586	22.146	1 249.560	
# 191- 193	82.816	99.376	119.996	0.5201	760.013	23.569	1 248.623	
# 194- 196	83.441	111.820	134.004	0.5313	854.469	25.767	1 249.663	
# 197- 199	73.753	50.032	67.837	0.4746	367.902	14.604	1 298.630	
# 200- 202	76.426	59.543	77.909	0.4846	437.833	16.426	1 298.650	
# 203- 205	77.933	67.107	86.106	0.4934	493.497	17.830	1 298.537	
# 206- 208	80.004	78.690	98.334	0.5064	578.586	19.836	1 298.737	
# 209- 211	81.750	91.982	112.515	0.5204	676.430	22.091	1 298.533	
# 212- 214	82.555	103.008	124.770	0.5308	756.959	24.013	1 299.477	
# 215- 217	83.201	116.196	139.655	0.5429	854.387	26.280	1 298.700	

Mesure de Rendement
95/03/03

N:constant
Moyennes

ETA_02

Date	Points	η	P_m	P_h	Q	C	H	N
07/03/95	# 1	81.189	73.893	91.013	0.4283	881.368	21.711	800.602
	# 2- 4	79.767	88.052	110.386	0.4464	1 049.710	25.262	801.010
	# 5- 7	81.104	91.099	112.323	0.4550	1 024.320	25.220	849.276
	# 8	81.333	93.928	115.486	0.4583	1 047.310	25.746	856.427
	# 9- 11	81.503	98.467	120.814	0.4697	1 043.833	26.280	900.808
	# 12- 14	82.273	104.992	127.614	0.4818	1 053.783	27.063	951.427
	# 15- 17	82.819	107.097	129.315	0.4906	1 022.407	26.929	1 000.285
07/03/95	# 1- 3	81.572	110.428	135.340	0.4922	1 090.787	28.089	967.471
	# 4- 6	82.253	120.101	146.014	0.5029	1 146.853	29.662	1 000.018
	# 7- 9	82.373	117.324	142.430	0.4997	1 120.017	29.122	1 000.303
	# 10- 12	82.995	115.766	139.486	0.5050	1 052.827	28.218	1 050.017
	# 13- 15	82.830	120.349	145.296	0.5087	1 094.813	29.179	1 049.720
	# 16- 18	82.608	124.121	150.252	0.5129	1 128.867	29.928	1 049.960
	# 19- 21	83.574	118.574	141.881	0.5139	1 029.300	28.209	1 100.067
	# 22- 24	83.285	123.249	147.986	0.5183	1 071.067	29.172	1 098.853
	# 25- 27	83.036	128.532	154.792	0.5236	1 115.657	30.202	1 100.150
	# 28- 30	83.670	121.619	145.356	0.5250	1 009.637	28.286	1 150.293
	# 31- 33	83.668	125.985	150.577	0.5285	1 046.473	29.108	1 149.640
	# 34- 36	83.629	131.482	157.222	0.5322	1 092.077	30.181	1 149.693
	# 37- 39	83.905	123.587	147.294	0.5336	984.692	28.201	1 198.517
	# 40- 42	83.957	128.766	153.373	0.5378	1 025.100	29.136	1 199.523
	# 43- 45	83.808	132.796	158.453	0.5413	1 057.153	29.907	1 199.550
	# 46- 48	83.718	125.161	149.504	0.5439	956.996	28.086	1 248.903
	# 49- 51	83.970	130.603	155.535	0.5469	999.210	29.057	1 248.150
	# 52- 53	83.390	127.140	152.466	0.5539	935.455	28.125	1 297.865
# 54- 56	83.484	132.717	158.975	0.5578	975.911	29.118	1 298.640	

Mesure de Rendement
95/03/03N:constant
Écart-types %

ETA_02

Date	Points	η	P_m	P_h	Q	C	H	N
03/03/95	# 1- 3	0.09%	4.32%	4.40%	0.88%	4.33%	3.54%	0.01%
	# 4- 5	0.38%	0.09%	0.28%	0.25%	0.06%	0.03%	0.03%
	# 6- 8	0.30%	0.94%	0.64%	0.20%	0.95%	0.83%	0.03%
	# 9- 11	0.19%	0.73%	0.70%	0.17%	0.73%	0.62%	0.01%
	# 12- 14	0.12%	0.54%	0.66%	0.19%	0.52%	0.48%	0.02%
	# 15- 17	0.30%	0.21%	0.40%	0.24%	0.23%	0.21%	0.05%
	# 18- 20	0.16%	3.15%	3.27%	0.87%	3.13%	2.40%	0.03%
	# 21- 23	0.18%	3.64%	3.68%	0.77%	3.62%	2.91%	0.03%
	# 24- 26	0.14%	1.86%	1.83%	0.29%	1.86%	1.57%	0.01%
	# 27- 29	0.13%	0.65%	0.72%	0.16%	0.66%	0.59%	0.01%
	# 30- 31	0.10%	0.06%	0.17%	0.23%	0.01%	0.06%	0.05%
	# 32- 34	0.16%	0.41%	0.56%	0.16%	0.43%	0.41%	0.02%
	# 35- 37	0.50%	5.66%	5.33%	1.09%	5.65%	4.31%	0.03%
	# 38- 40	0.16%	0.57%	0.42%	0.10%	0.58%	0.46%	0.01%
	# 41- 43	0.18%	0.74%	0.69%	0.17%	0.74%	0.54%	0.03%
	# 44- 46	0.04%	1.37%	1.35%	0.25%	1.36%	1.12%	0.01%
	# 47- 49	0.05%	0.42%	0.46%	0.09%	0.42%	0.39%	0.03%
	# 50- 52	0.13%	0.23%	0.35%	0.15%	0.22%	0.20%	0.01%
	# 53- 55	0.12%	1.12%	1.10%	0.30%	1.12%	0.81%	0.03%
	# 56- 58	0.13%	0.22%	0.11%	0.10%	0.22%	0.18%	0.00%
	# 59- 61	0.15%	1.25%	1.23%	0.16%	1.29%	1.10%	0.04%
	# 62- 64	0.14%	0.26%	0.36%	0.18%	0.24%	0.18%	0.02%
	# 65- 67	0.20%	0.58%	0.58%	0.15%	0.55%	0.46%	0.04%
	# 68- 70	0.12%	0.16%	0.22%	0.09%	0.15%	0.16%	0.02%
	# 71- 73	0.06%	0.36%	0.42%	0.08%	0.37%	0.34%	0.01%
	# 74- 75	0.05%	0.45%	0.51%	0.12%	0.47%	0.39%	0.01%
	# 76- 78	0.05%	0.44%	0.45%	0.16%	0.44%	0.29%	0.01%
	# 79- 81	0.12%	2.32%	2.25%	0.48%	2.31%	1.80%	0.02%
	# 82- 84	0.16%	1.71%	1.77%	0.41%	1.71%	1.39%	0.01%
	# 85- 87	0.10%	0.40%	0.50%	0.15%	0.39%	0.36%	0.01%
	# 88- 90	0.27%	0.17%	0.38%	0.30%	0.15%	0.08%	0.02%
	# 91- 93	0.29%	0.49%	0.77%	0.29%	0.51%	0.49%	0.02%
	# 94- 96	0.98%	6.00%	5.04%	0.92%	5.99%	4.12%	0.02%
	# 97- 99	0.54%	4.93%	4.39%	0.73%	4.93%	3.66%	0.02%
	# 100- 101	0.15%	0.97%	0.82%	0.11%	0.96%	0.71%	0.01%
	# 102- 104	0.11%	1.90%	1.80%	0.31%	1.89%	1.49%	0.01%
	# 105- 107	0.13%	3.60%	3.59%	0.60%	3.58%	3.00%	0.02%
	# 108- 110	0.13%	0.72%	0.64%	0.08%	0.73%	0.68%	0.01%
	# 111- 113	0.18%	0.70%	0.79%	0.16%	0.70%	0.62%	0.03%
# 114- 116	0.75%	2.76%	2.05%	0.28%	2.75%	1.80%	0.02%	
Refusé	# 117- 119							
	# 120- 121	0.78%	6.05%	5.27%	0.89%	6.04%	4.38%	0.01%
	# 122- 124	0.58%	5.34%	4.76%	0.79%	5.32%	3.96%	0.02%
	# 125- 127	0.22%	2.95%	2.73%	0.43%	2.94%	2.31%	0.02%
	# 128							
	# 129- 130	0.19%	1.61%	1.42%	0.20%	1.55%	1.22%	0.06%
	# 131- 133	0.20%	0.58%	0.62%	0.14%	0.58%	0.53%	0.02%
# 134- 136	1.25%	4.48%	3.25%	0.40%	4.46%	2.90%	0.03%	
# 137- 139	1.23%	5.93%	4.68%	0.70%	5.91%	3.98%	0.02%	

Mesure de Rendement
95/03/03

N:constant
Écart-types %

ETA_02

Date	Points	η	P_{m}	P_{h}	Q	C	H	N
# 140- 142		0.65%	5.05%	4.40%	0.60%	5.04%	3.80%	0.01%
# 143- 145		0.42%	3.06%	2.64%	0.42%	3.03%	2.23%	0.04%
# 146- 148		0.28%	2.82%	2.57%	0.38%	2.82%	2.19%	0.02%
# 149- 151		0.06%	0.29%	0.24%	0.00%	0.29%	0.24%	0.01%
# 152- 154		0.28%	0.97%	0.96%	0.27%	0.98%	0.87%	0.01%
# 155- 157		0.23%	0.44%	0.22%	0.09%	0.44%	0.29%	0.01%
# 158- 160		0.26%	0.73%	0.47%	0.00%	0.72%	0.47%	0.02%
# 161- 163		0.07%	0.57%	0.58%	0.15%	0.59%	0.43%	0.01%
# 164- 166		0.27%	2.19%	1.96%	0.30%	2.19%	1.69%	0.01%
# 167- 169		0.20%	0.22%	0.28%	0.14%	0.22%	0.15%	0.01%
# 170- 172		0.07%	0.87%	0.92%	0.21%	0.89%	0.71%	0.02%
# 173- 175		0.31%	0.70%	0.44%	0.13%	0.69%	0.54%	0.02%
# 176- 178		0.36%	0.91%	0.58%	0.09%	0.89%	0.60%	0.01%
# 179- 181		0.03%	0.27%	0.24%	0.00%	0.28%	0.24%	0.01%
# 182- 184		0.68%	4.26%	3.57%	0.66%	4.23%	2.89%	0.02%
# 185- 187		0.37%	1.67%	1.30%	0.16%	1.65%	1.16%	0.02%
# 188- 190		0.23%	1.51%	1.31%	0.16%	1.51%	1.15%	0.02%
# 191- 193		0.19%	2.28%	2.27%	0.60%	2.27%	1.70%	0.02%
# 194- 196		0.23%	3.21%	2.98%	0.40%	3.22%	2.58%	0.01%
# 197- 199		0.21%	0.37%	0.28%	0.09%	0.38%	0.24%	0.01%
# 200- 202		0.14%	1.64%	1.51%	0.30%	1.64%	1.22%	0.02%
# 203- 205		0.39%	1.36%	0.98%	0.08%	1.37%	0.96%	0.01%
# 206- 208		1.01%	4.66%	3.64%	0.50%	4.65%	3.14%	0.02%
# 209- 211		0.20%	1.22%	1.02%	0.13%	1.22%	0.90%	0.01%
# 212- 214		0.20%	2.68%	2.50%	0.39%	2.68%	2.10%	0.01%
# 215- 217		0.26%	1.25%	0.99%	0.07%	1.24%	0.94%	0.02%

Mesure de Rendement
95/03/03

N:constant
Écart-types %

ETA_02

Date	Points	η	P_m	P_h	Q	C	H	N
07/03/95	# 1							
	# 2-4	0.02%	0.05%	0.07%	0.00%	0.05%	0.07%	0.01%
	# 5-7	0.31%	0.41%	0.12%	0.09%	0.14%	0.20%	0.28%
	# 8							
	# 9-11	0.12%	0.24%	0.35%	0.09%	0.24%	0.27%	0.01%
	# 12-14	0.16%	0.23%	0.38%	0.22%	0.16%	0.16%	0.12%
	# 15-17	0.13%	0.22%	0.32%	0.08%	0.30%	0.24%	0.10%
	# 1-3	1.72%	4.09%	2.45%	2.06%	1.90%	0.39%	5.92%
07/03/95	# 4-6	0.15%	0.04%	0.19%	0.14%	0.06%	0.05%	0.03%
	# 7-9	0.03%	0.15%	0.13%	0.08%	0.14%	0.18%	0.02%
	# 10-12	0.16%	0.26%	0.13%	0.14%	0.22%	0.22%	0.04%
	# 13-15	0.09%	0.19%	0.19%	0.08%	0.18%	0.17%	0.01%
	# 16-18	0.22%	0.08%	0.22%	0.21%	0.06%	0.08%	0.03%
	# 19-21	0.31%	0.10%	0.29%	0.16%	0.09%	0.14%	0.06%
	# 22-24	0.04%	0.08%	0.11%	0.00%	0.09%	0.11%	0.02%
	# 25-27	0.31%	0.19%	0.23%	0.28%	0.15%	0.14%	0.04%
	# 28-30	0.11%	0.30%	0.21%	0.15%	0.30%	0.34%	0.00%
	# 31-33	0.08%	0.18%	0.25%	0.15%	0.18%	0.23%	0.03%
	# 34-36	0.21%	0.23%	0.43%	0.23%	0.22%	0.22%	0.03%
	# 37-39	0.19%	0.41%	0.53%	0.26%	0.40%	0.34%	0.01%
	# 40-42	0.03%	0.12%	0.12%	0.00%	0.11%	0.12%	0.02%
	# 43-45	0.11%	0.28%	0.39%	0.13%	0.28%	0.30%	0.02%
	# 46-48	0.35%	0.47%	0.51%	0.27%	0.46%	0.36%	0.02%
	# 49-51	0.13%	0.29%	0.42%	0.13%	0.30%	0.30%	0.01%
	# 52-53	0.39%	0.48%	0.87%	0.36%	0.50%	0.51%	0.02%
	# 54-56	0.21%	0.43%	0.51%	0.14%	0.44%	0.42%	0.01%

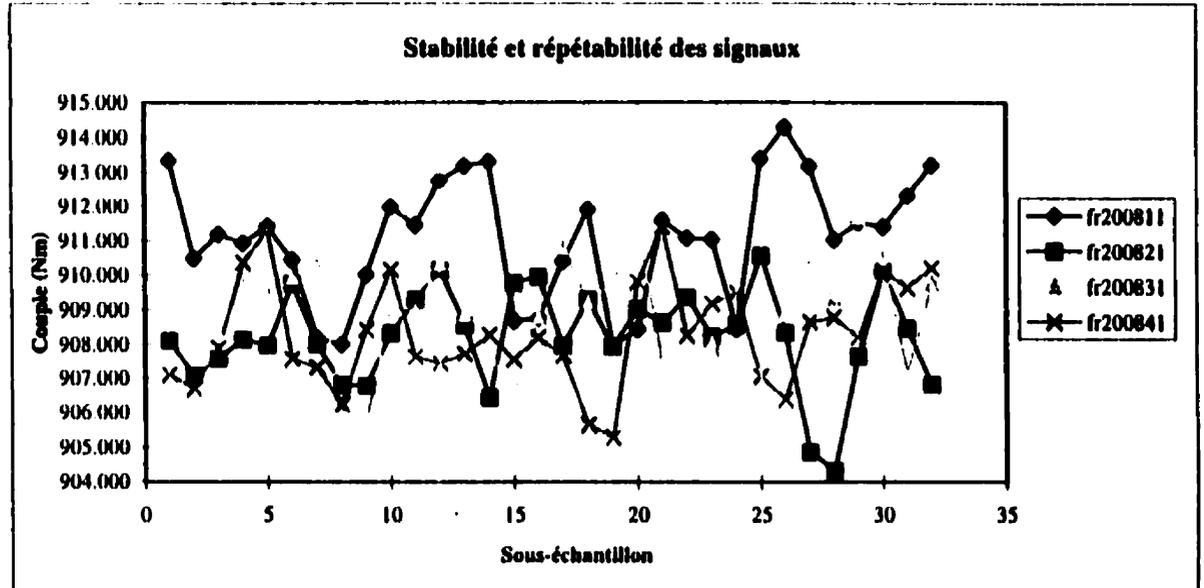
Moyennes: 0.27% 1.43% 1.31% 0.29% 1.40% 1.06% 0.09%

ANNEXE E

Mesures dynamiques

**DYN_01
95/06/08**

fr200811	fr200821	fr200831	fr200841
913.341	908.113	910.158	907.105
910.478	907.076	908.354	906.688
911.191	907.573	908.255	907.880
910.935	908.140	909.690	910.362
911.413	907.979	909.489	911.309
910.448	909.752	909.938	907.569
908.191	908.019	910.308	907.317
908.011	906.800	905.974	906.243
910.013	906.782	905.794	908.431
911.984	908.331	909.039	910.153
911.451	909.308	908.987	907.630
912.760	910.156	910.348	907.444
913.184	908.569	908.893	907.720
913.310	906.439	907.713	908.279
908.694	909.777	906.591	907.563
908.770	909.955	908.815	908.197
910.403	907.967	910.786	907.670
911.902	909.304	909.238	905.639
907.959	907.942	909.782	905.276
908.451	909.023	911.429	909.800
911.584	908.641	907.557	911.415
911.075	909.358	907.602	908.255
911.040	908.235	908.089	909.190
908.458	908.577	906.431	909.483
913.391	910.565	907.196	907.050
914.289	908.356	908.930	906.377
913.177	904.861	910.359	908.648
911.032	904.320	909.338	908.785
911.523	907.641	911.680	908.208
911.402	910.131	910.491	910.112
912.307	908.475	907.198	909.643
913.204	906.819	909.778	910.204

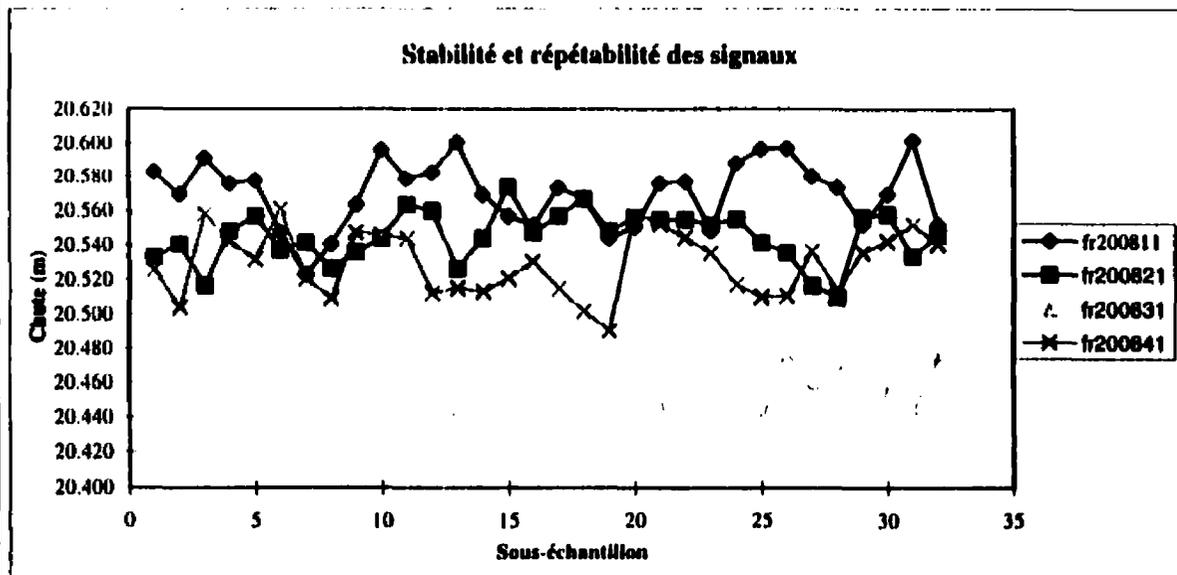


	fr200811	fr200821	fr200831	fr200841	fr2008xx
Moy	911.105	908.218	908.882	908.301	909.127
Écart type	1.799	1.432	1.541	1.544	1.958
Écart %	0.197	0.158	0.170	0.170	0.215
e95%	0.403	0.322	0.346	0.347	0.426
Ens	911.105	908.218	908.882	908.301	909.127
Écart type	25.862	24.892	27.195	28.215	1.352
Écart %	2.838	2.741	2.992	3.106	0.149
e95%	5.824	5.624	6.139	6.374	0.473

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

209.000	235.000	238.000	198.000
---------	---------	---------	---------

fr200811	fr200821	fr200831	fr200841
20.583	20.533	20.485	20.526
20.570	20.541	20.469	20.504
20.591	20.517	20.489	20.558
20.576	20.548	20.473	20.542
20.578	20.557	20.475	20.531
20.548	20.537	20.459	20.561
20.523	20.541	20.456	20.520
20.541	20.526	20.415	20.509
20.563	20.536	20.449	20.547
20.596	20.544	20.445	20.546
20.579	20.563	20.462	20.544
20.582	20.560	20.478	20.512
20.600	20.526	20.435	20.515
20.569	20.544	20.440	20.513
20.557	20.574	20.445	20.521
20.552	20.547	20.458	20.530
20.573	20.557	20.477	20.515
20.567	20.567	20.462	20.502
20.544	20.548	20.473	20.491
20.551	20.556	20.452	20.557
20.576	20.555	20.447	20.552
20.577	20.555	20.436	20.544
20.549	20.552	20.440	20.535
20.588	20.555	20.431	20.517
20.597	20.541	20.439	20.510
20.597	20.536	20.476	20.511
20.580	20.517	20.454	20.536
20.574	20.510	20.466	20.514
20.552	20.557	20.489	20.536
20.570	20.558	20.455	20.542
20.602	20.534	20.444	20.552
20.552	20.546	20.473	20.541

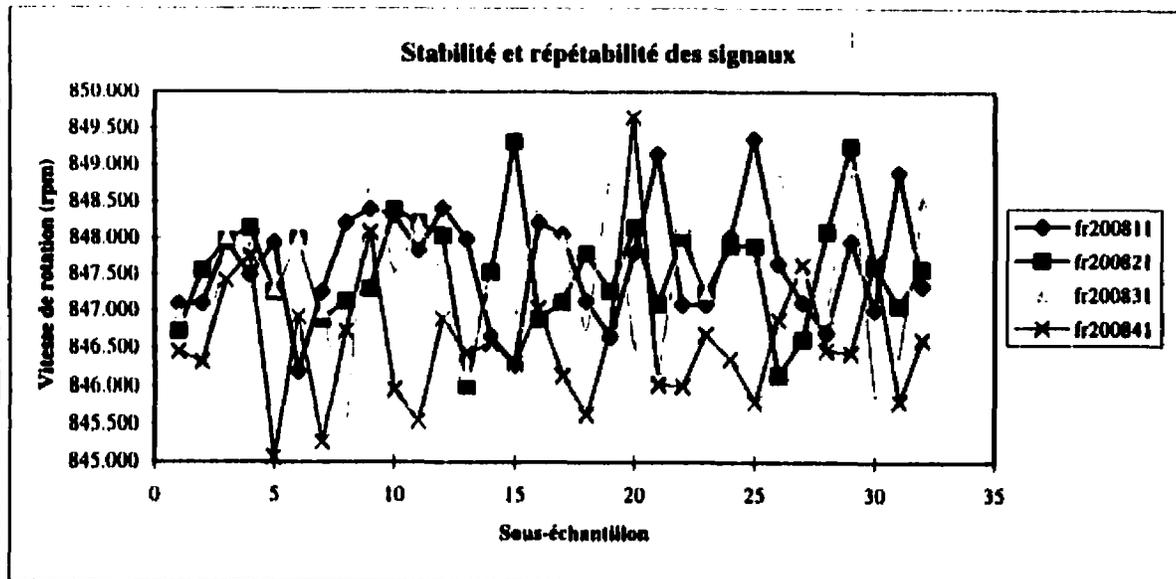


	fr200811	fr200821	fr200831	fr200841	fr2008xx
Moy	20.570	20.545	20.458	20.529	20.526
Écart type	0.020	0.015	0.018	0.019	0.046
Écart %	0.095	0.073	0.089	0.091	0.222
e95%	0.195	0.150	0.183	0.186	0.440
Ens	20.571	20.546	20.458	20.529	20.526
Écart type	0.045	0.049	0.044	0.082	0.048
Écart %	0.218	0.239	0.217	0.402	0.236
e95%	0.448	0.491	0.445	0.824	0.751

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

235.000	270.000	285.000	251.000
---------	---------	---------	---------

fr200811	fr200821	fr200831	fr200841
847.092	846.734	846.939	846.443
847.099	847.559	846.195	846.317
847.936	847.979	848.014	847.416
847.490	848.138	847.867	847.755
847.938	847.256	847.292	845.068
846.195	847.993	847.995	846.922
847.266	846.882	846.992	845.265
848.208	847.132	845.425	846.722
848.398	847.302	849.011	848.086
848.310	848.393	847.480	845.954
847.833	848.208	848.196	845.542
848.413	848.038	847.497	846.891
847.986	846.012	846.174	846.422
846.646	847.530	847.349	846.555
846.281	849.323	846.841	846.295
848.212	846.889	848.558	847.037
848.050	847.118	847.955	846.140
847.132	847.788	846.655	845.625
846.646	847.268	848.897	846.715
847.795	848.148	846.493	849.650
849.149	847.092	846.167	846.021
847.082	848.012	848.155	846.002
847.082	847.240	847.251	846.677
848.019	847.905	847.075	846.357
849.359	847.898	847.387	845.792
847.650	846.145	848.801	846.884
847.108	846.617	847.547	847.638
846.703	848.091	846.932	846.467
847.957	849.261	848.994	846.429
847.013	847.616	845.830	847.678
848.904	847.065	846.341	845.802
847.344	847.583	848.482	846.617



	fr200811	fr200821	fr200831	fr200841	fr2008xx
Moy	847.634	847.569	847.400	846.600	847.301
Écart type	0.784	0.746	0.963	0.905	0.940
Écart %	0.092	0.088	0.114	0.107	0.111
e95%	0.189	0.180	0.232	0.218	0.220
Ens	847.634	847.569	847.400	846.600	847.301
Écart type	12.327	12.586	12.416	14.531	0.478
Écart %	1.454	1.485	1.465	1.716	0.056
e95%	2.995	3.058	3.018	3.535	0.179

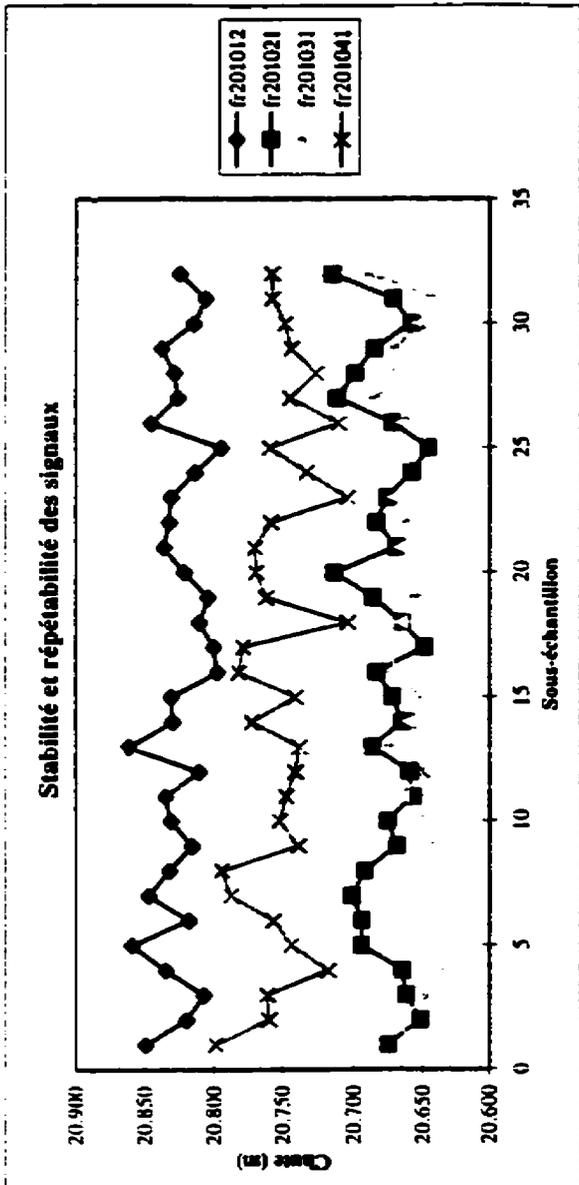
Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

239.000	249.000	244.000	245.000
---------	---------	---------	---------

DYN_01

Moyennes de 512 points

	fr201012	fr201021	fr201031	fr201041
20.850	20.675	20.659	20.798	
20.820	20.652	20.667	20.760	
20.808	20.662	20.644	20.761	
20.835	20.665	20.631	20.718	
20.859	20.695	20.659	20.744	
20.818	20.694	20.636	20.756	
20.847	20.701	20.652	20.787	
20.832	20.692	20.622	20.794	
20.816	20.669	20.640	20.738	
20.831	20.676	20.650	20.752	
20.835	20.657	20.664	20.747	
20.811	20.660	20.649	20.740	
20.862	20.687	20.672	20.738	
20.829	20.665	20.660	20.772	
20.831	20.672	20.652	20.741	
20.798	20.684	20.672	20.782	
20.800	20.649	20.669	20.779	
20.811	20.665	20.666	20.704	
20.804	20.686	20.655	20.761	
20.821	20.714	20.666	20.768	
20.836	20.669	20.667	20.770	
20.832	20.684	20.659	20.758	
20.831	20.676	20.671	20.704	
20.814	20.658	20.694	20.732	
20.795	20.646	20.679	20.759	
20.846	20.672	20.665	20.710	
20.826	20.712	20.683	20.744	
20.828	20.699	20.673	20.726	
20.838	20.685	20.668	20.743	
20.814	20.658	20.654	20.748	
20.806	20.671	20.641	20.757	
20.824	20.715	20.687	20.757	



	fr201012	fr201021	fr201031	fr201041	fr2010xx
Moy	20.825	20.677	20.660	20.752	20.729
Écart type	0.017	0.019	0.016	0.024	0.069
Écart %	0.082	0.091	0.078	0.115	0.331
e95%	0.167	0.186	0.158	0.234	0.654
Ens	20.825	20.677	20.660	20.752	20.729
Écart type	0.062	0.047	0.056	0.079	0.076
Écart %	0.296	0.228	0.272	0.378	0.365
e95%	0.607	0.469	0.557	0.776	1.163

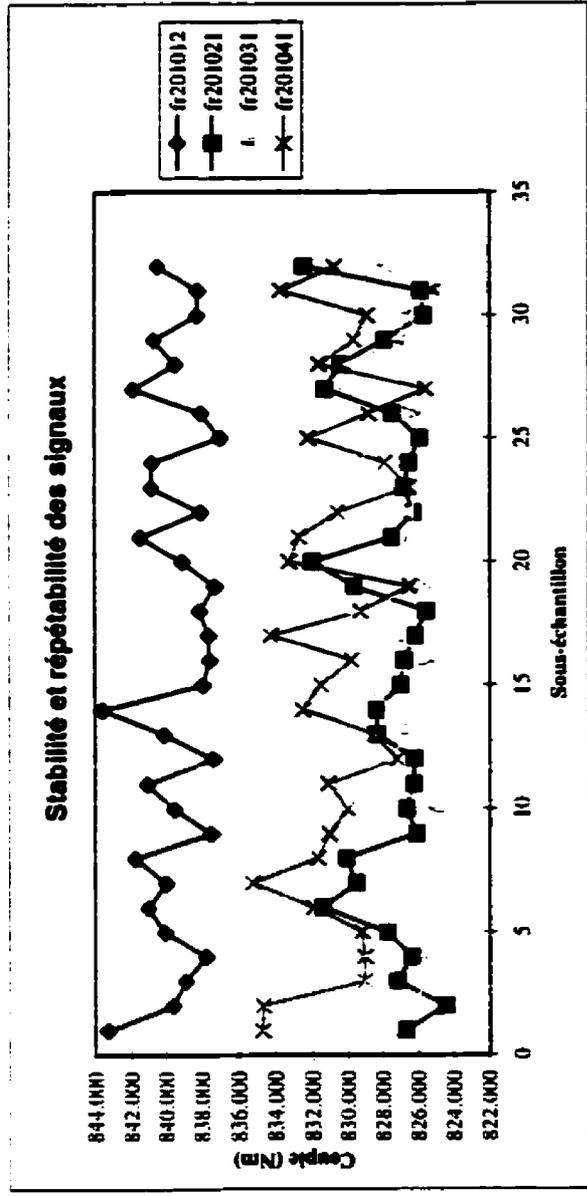
Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

287.000	227.000	151.000	292.000
---------	---------	---------	---------

Moyennes de 512 points

fr201012	fr201021	fr201031	fr201041
843.317	826.721	827.989	834.738
839.633	824.480	826.893	834.681
838.906	827.198	825.046	829.045
837.786	826.390	825.586	829.035
840.078	827.741	824.613	829.191
841.049	831.458	824.557	831.961
839.997	829.528	824.528	835.250
841.786	830.123	825.939	831.703
837.505	826.098	823.912	831.090
839.522	826.662	825.027	830.022
841.108	826.268	827.765	831.137
837.385	826.215	827.621	827.198
840.113	828.317	826.541	828.456
843.626	828.385	827.106	832.552
837.945	827.031	829.544	831.552
837.586	826.825	824.973	829.782
837.630	826.178	827.589	834.233
838.134	825.559	829.902	829.280
837.285	829.669	825.390	826.511
839.093	832.036	828.035	833.263
841.499	827.509	826.416	832.719
838.047	826.293	826.642	830.616
840.864	826.812	828.240	826.529
840.829	826.533	829.362	827.880
836.994	825.921	829.305	832.258
838.036	827.485	825.846	828.826
841.906	831.366	830.155	825.582
839.482	830.421	829.978	831.655
840.717	827.920	827.153	829.635
838.252	825.662	826.661	828.920
838.211	825.865	825.169	833.716
840.489	832.489	827.926	830.800

Mesures Dynamiques à 500 Hz
95/06/30

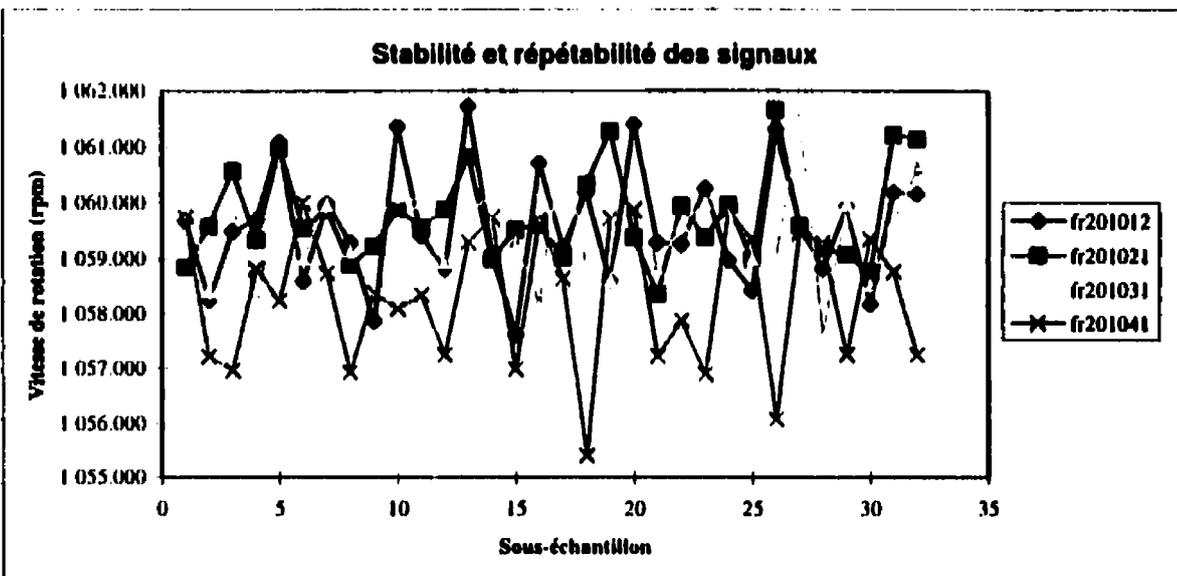


	fr201012	fr201021	fr201031	fr201041	fr2010xx
Moy	839.525	827.724	826.919	830.619	831.197
Écart type	1.802	2.086	1.801	2.544	5.426
Écart %	0.215	0.252	0.218	0.306	0.653
e95%	0.438	0.515	0.445	0.625	1.292
Éns	839.525	827.724	826.919	830.619	831.197
Écart type	13.703	10.444	10.649	9.378	5.775
Écart %	1.632	1.262	1.288	1.129	0.695
e95%	3.349	2.589	2.642	2.317	2.211

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

262.000	237.000	175.000	287.000
---------	---------	---------	---------

fr201012	fr201021	fr201031	fr201041
1 059.685	1 058.855	1 060.431	1 059.740
1 058.255	1 059.589	1 058.421	1 057.222
1 059.496	1 060.574	1 059.966	1 056.967
1 059.699	1 059.344	1 058.290	1 058.819
1 061.099	1 060.989	1 060.176	1 058.242
1 058.600	1 059.553	1 059.012	1 060.002
1 059.988	1 059.878	1 059.964	1 058.741
1 059.291	1 058.893	1 059.146	1 056.933
1 057.873	1 059.230	1 059.582	1 058.385
1 061.370	1 059.904	1 060.140	1 058.092
1 059.425	1 059.566	1 060.011	1 058.350
1 058.820	1 059.890	1 058.943	1 057.251
1 061.730	1 060.829	1 059.821	1 059.303
1 059.093	1 058.998	1 060.126	1 059.732
1 057.615	1 059.527	1 059.318	1 056.995
1 060.713	1 059.616	1 058.194	1 059.692
1 059.208	1 059.031	1 061.196	1 058.645
1 060.181	1 060.341	1 058.865	1 055.422
1 058.602	1 061.294	1 058.617	1 059.725
1 061.411	1 059.387	1 060.524	1 059.873
1 059.296	1 058.369	1 058.838	1 057.231
1 059.270	1 059.954	1 059.618	1 057.878
1 060.264	1 059.389	1 060.002	1 056.896
1 058.977	1 059.971	1 060.407	1 059.861
1 058.423	1 058.995	1 059.000	1 059.349
1 061.320	1 061.673	1 059.038	1 056.082
1 059.611	1 059.594	1 061.499	1 059.461
1 058.817	1 059.191	1 057.625	1 059.282
1 059.940	1 059.081	1 059.983	1 057.255
1 058.178	1 058.767	1 058.524	1 059.358
1 060.190	1 061.230	1 059.656	1 058.767
1 060.164	1 061.149	1 060.629	1 057.253



	fr201012	fr201021	fr201031	fr201041	fr2010xx
Moy	1 059.581	1 059.770	1 059.549	1 058.338	1 059.310
Écart type	1.072	0.839	0.898	1.251	1.164
Écart %	0.101	0.079	0.085	0.118	0.110
e95%	0.207	0.162	0.173	0.241	0.217
Ens	1 059.581	1 059.770	1 059.549	1 058.338	1 059.310
Écart type	12.562	12.722	12.630	12.413	0.655
Écart %	1.186	1.200	1.192	1.173	0.062
e95%	2.442	2.472	2.455	2.416	0.197

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

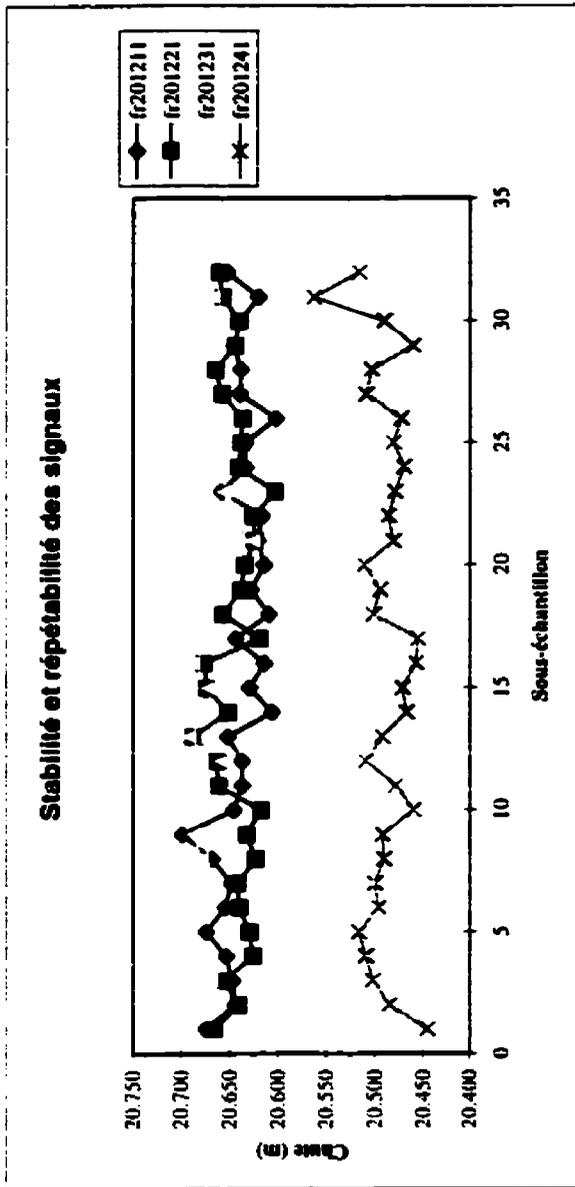
243.000	238.000	244.000	248.000
---------	---------	---------	---------

Moyennes de 512 points

Mesures Dynamiques à 500 Hz

95/06/30

fr201211	fr201221	fr201231	fr201241
20.675	20.666	20.712	20.446
20.644	20.641	20.706	20.485
20.647	20.656	20.670	20.502
20.654	20.626	20.691	20.509
20.674	20.630	20.701	20.516
20.655	20.640	20.724	20.496
20.648	20.642	20.715	20.500
20.668	20.623	20.679	20.490
20.699	20.633	20.688	20.492
20.646	20.618	20.738	20.460
20.637	20.662	20.705	20.478
20.638	20.663	20.659	20.509
20.652	20.688	20.692	20.492
20.606	20.652	20.703	20.467
20.630	20.674	20.672	20.472
20.615	20.677	20.688	20.457
20.644	20.620	20.702	20.455
20.610	20.657	20.708	20.502
20.629	20.639	20.696	20.494
20.615	20.635	20.675	20.510
20.622	20.624	20.627	20.481
20.617	20.626	20.659	20.486
20.659	20.603	20.656	20.479
20.634	20.641	20.682	20.470
20.634	20.639	20.689	20.481
20.602	20.637	20.691	20.473
20.640	20.658	20.713	20.509
20.639	20.665	20.704	20.503
20.646	20.644	20.693	20.460
20.639	20.641	20.692	20.490
20.621	20.658	20.667	20.563
20.653	20.661	20.715	20.516

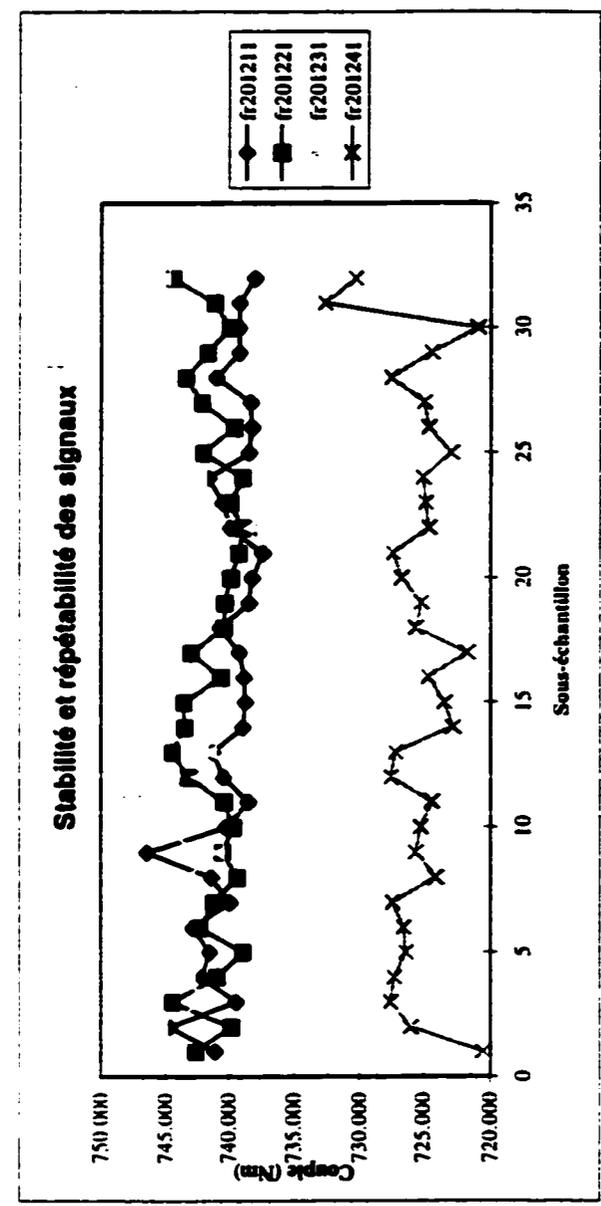


	fr201211	fr201221	fr201231	fr201241	fr2012xx
Moy	20.640	20.645	20.691	20.489	20.616
Écart type	0.021	0.019	0.023	0.023	0.079
Écart %	0.104	0.093	0.110	0.113	0.385
e95%	0.212	0.190	0.224	0.231	0.762
Éns	20.640	20.645	20.691	20.489	20.616
Écart type	0.046	0.050	0.053	0.071	0.088
Écart %	0.223	0.240	0.256	0.348	0.427
e95%	0.458	0.493	0.525	0.714	1.358

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%,n=32): 179 < x < 312

321.000	234.000	276.000	243.000
---------	---------	---------	---------

Moyennes de 512 points



Mesures Dynamiques à 500 Hz
95/06/30

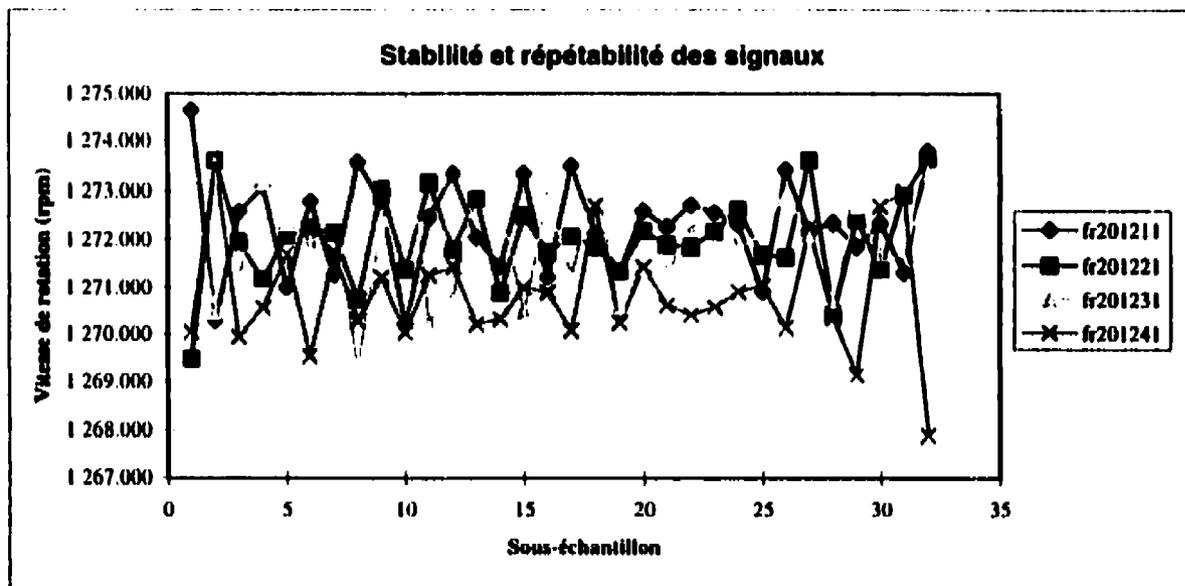
	fr201211	fr201221	fr201231	fr201241
741.063	742.586	748.773	720.536	720.536
744.658	739.794	745.398	725.959	725.959
739.413	744.469	741.985	727.503	727.503
742.100	740.930	743.200	727.231	727.231
741.509	738.904	745.218	726.335	726.335
742.823	742.268	745.662	726.483	726.483
739.912	741.187	748.494	727.351	727.351
741.368	739.311	743.362	724.027	724.027
746.520	740.481	740.818	725.556	725.556
740.189	739.644	747.056	725.192	725.192
738.466	740.360	748.588	724.327	724.327
740.401	743.156	742.440	727.513	727.513
741.241	744.463	741.452	727.147	727.147
738.906	743.460	746.264	722.799	722.799
738.730	743.549	745.282	723.393	723.393
738.800	740.610	742.999	724.563	724.563
739.170	742.957	746.155	721.733	721.733
740.650	740.347	746.791	725.543	725.543
738.425	740.301	744.333	725.114	725.114
738.170	739.845	741.179	726.657	726.657
737.332	739.195	740.648	727.315	727.315
739.846	738.915	738.400	724.574	724.574
740.454	739.909	743.145	724.805	724.805
741.558	738.893	742.268	724.973	724.973
738.406	741.978	743.454	722.911	722.911
738.156	739.564	747.454	724.568	724.568
738.288	742.085	745.975	724.892	724.892
740.950	743.387	745.449	727.481	727.481
739.178	741.665	744.578	724.314	724.314
739.187	739.923	742.840	720.931	720.931
739.150	741.105	743.576	732.638	732.638
737.949	744.393	745.171	730.320	730.320

	fr201211	fr201221	fr201231	fr201241	fr2012xx
Moy	740.093	741.238	744.325	725.459	737.779
Écart type	1.992	1.771	2.517	2.468	7.627
Écart %	0.269	0.239	0.338	0.340	1.034
e95%	0.550	0.488	0.691	0.695	2.046
Ens	740.093	741.238	744.325	725.459	737.779
Écart type	39.674	41.416	44.893	40.613	8.405
Écart %	5.361	5.587	6.031	5.598	1.139
e95%	10.999	11.464	12.375	11.487	3.626

Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%,n=32): 179 < x < 312

347.000	260.000	275.000	262.000
---------	---------	---------	---------

fr201211	fr201221	fr201231	fr201241
274.648	269.481	273.379	270.048
270.292	273.613	270.454	273.620
272.569	271.961	271.231	269.939
273.088	271.190	273.181	270.568
271.007	272.092	272.328	271.696
272.790	272.237	271.987	269.529
271.284	272.142	272.709	271.737
273.568	270.755	269.276	270.282
272.774	273.019	272.426	271.217
270.199	271.376	274.805	270.037
272.456	273.157	270.254	271.269
273.339	271.801	270.778	271.438
272.051	272.836	273.227	270.211
271.453	270.892	272.762	270.318
273.339	272.490	270.485	270.997
271.224	271.739	272.869	270.897
273.496	272.073	271.269	270.077
272.130	271.853	273.126	272.690
271.324	271.355	270.575	270.239
272.583	272.170	271.420	271.434
272.261	271.894	271.331	270.623
272.709	271.844	272.194	270.411
272.545	272.163	273.165	270.582
272.330	272.628	271.801	270.919
270.921	271.682	272.154	271.038
273.408	271.641	272.933	270.134
272.199	273.613	272.099	272.237
272.342	270.442	270.685	270.354
271.856	272.426	272.681	269.145
272.335	271.405	271.703	272.683
271.324	272.917	271.622	273.000
273.792	273.646	273.370	267.893



	fr201211	fr201221	fr201231	fr201241	fr2012xx
Moy	272.301	272.017	272.009	270.852	271.795
Écart type	1.028	0.925	1.182	1.167	1.205
Écart %	0.081	0.073	0.093	0.092	0.095
e95%	0.165	0.149	0.190	0.187	0.188
Ens	272.301	272.017	272.009	270.852	271.795
Écart type	19.478	19.131	18.732	18.420	0.643
Écart %	1.531	1.504	1.473	1.449	0.051
e95%	3.153	3.097	3.033	2.985	0.161

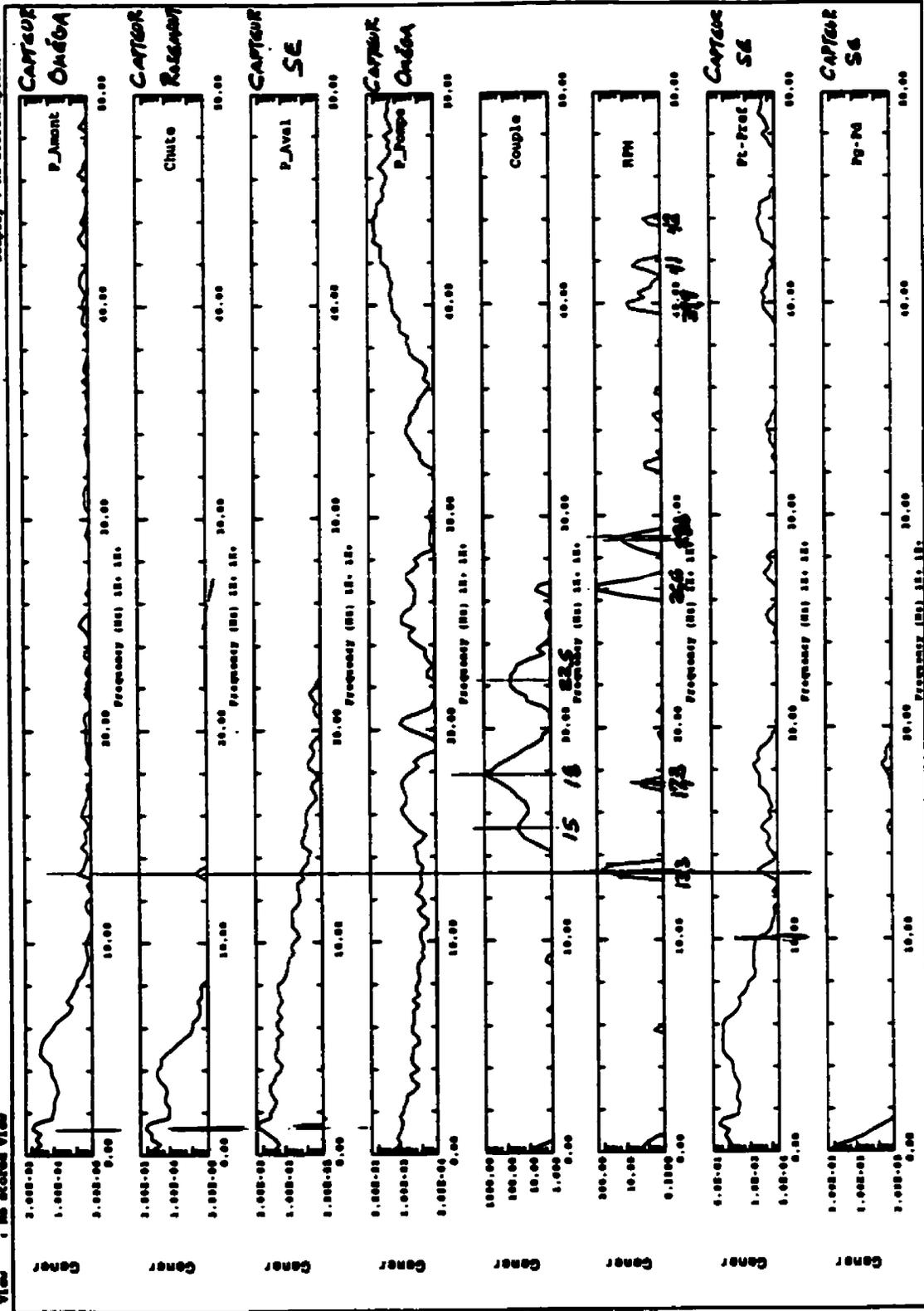
Test de stabilité par Arrangements Inverses (e95%;n=32): 179 < x < 312

255.000	225.000	239.000	239.000
---------	---------	---------	---------

ET200811 (0-50 Hz)

Database: aneigendynamique
View : No stored View

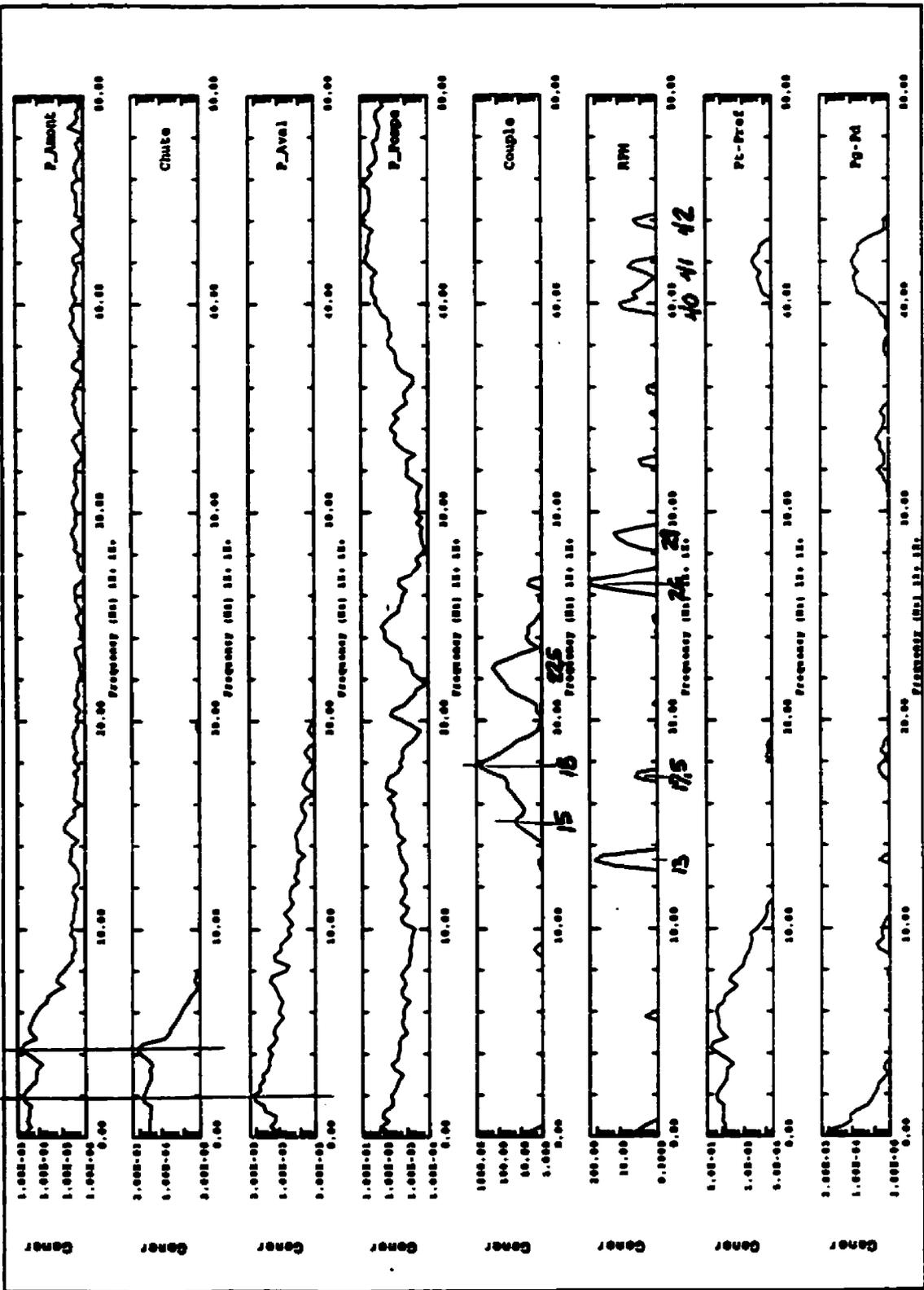
Display : No stored Option



ET200821 (0-50 Hz)

Units : mm
Display : No stored Option

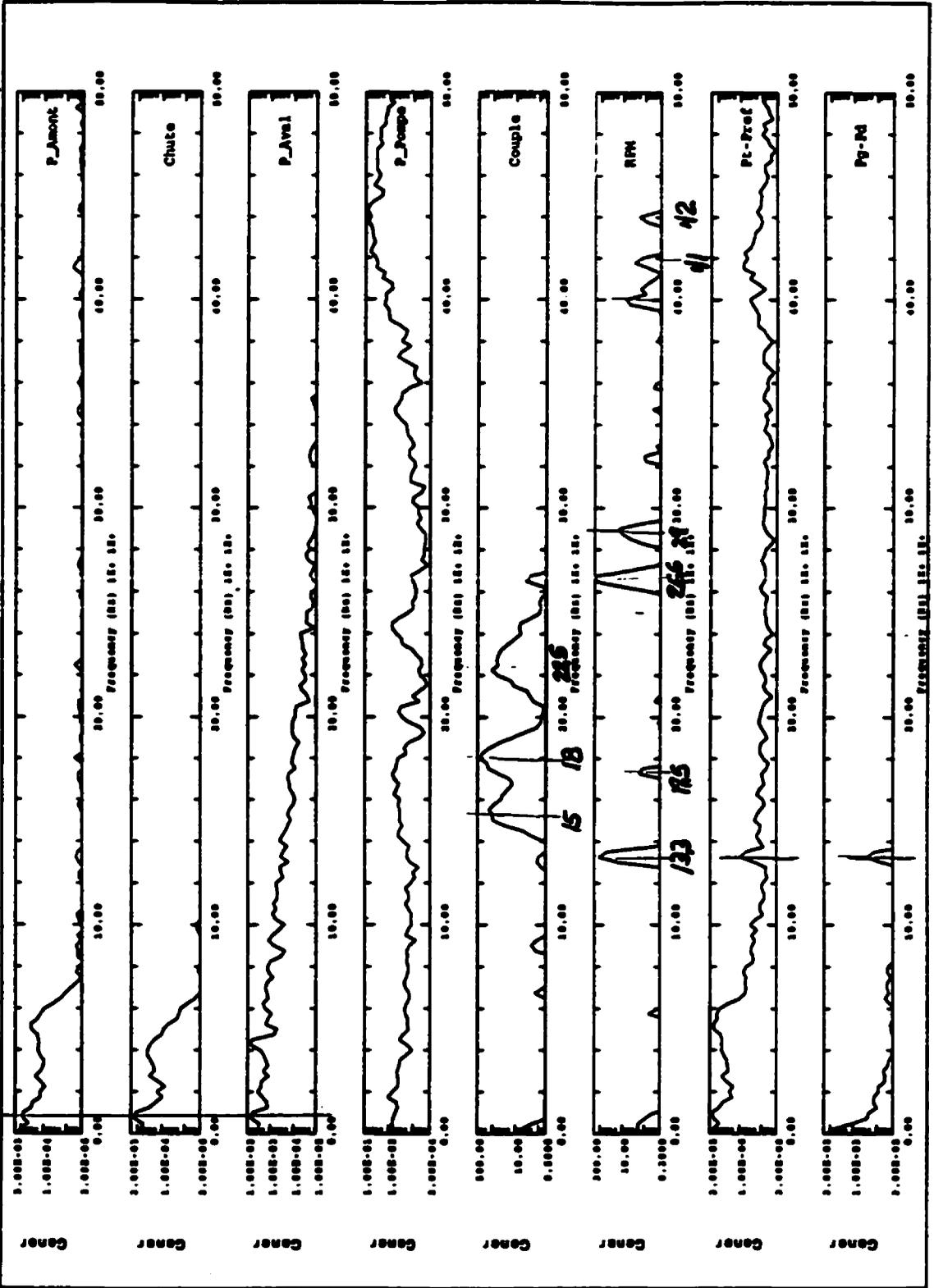
Database: analyzeminigun
View : No stored View



ET200831 (0-50 Hz)

Units : MM
Display : No stored Option

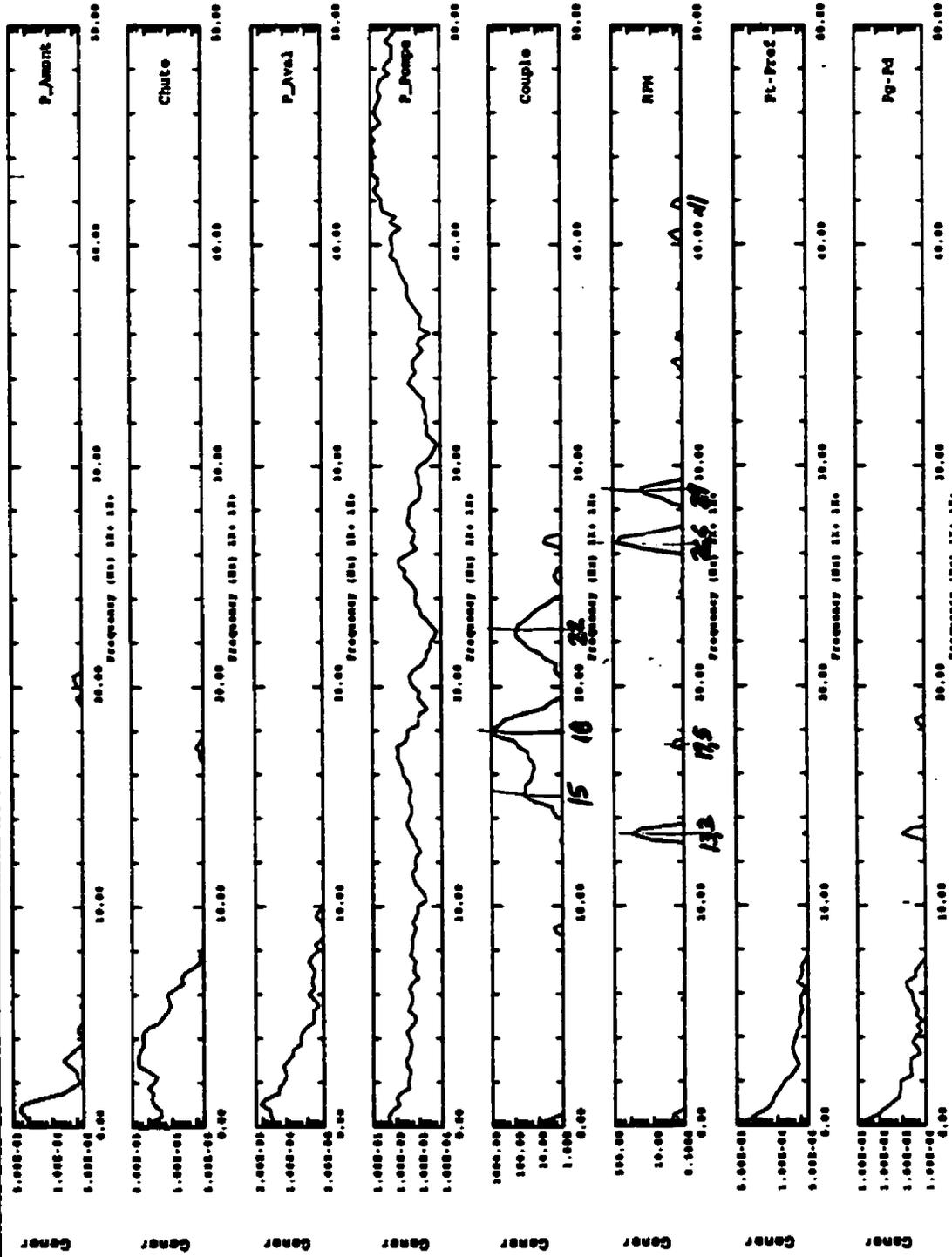
Database: analytical
View : No stored View



ET200841 (0-50 Hz)

Database: analysisdynamic
View: No stored cycles

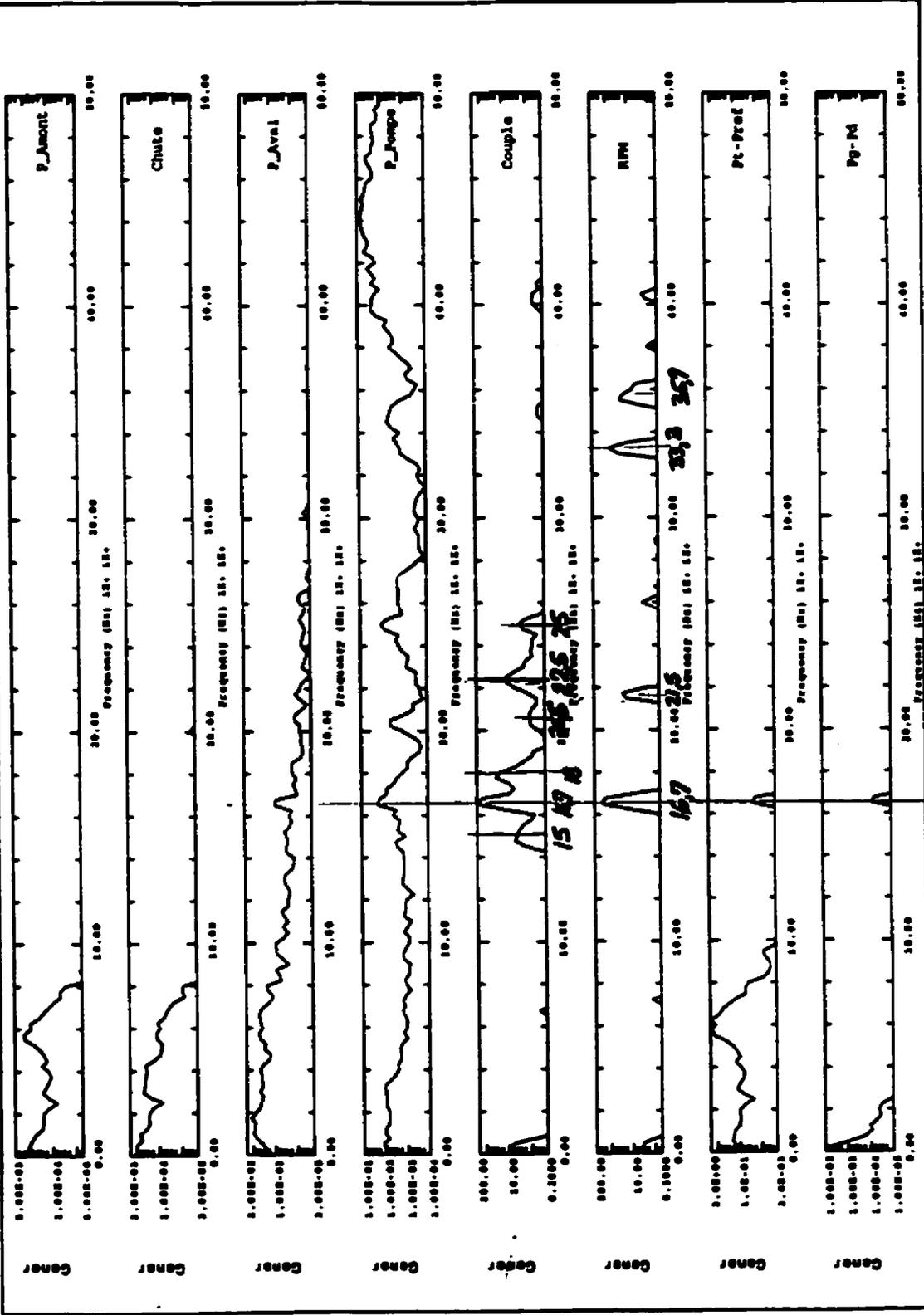
Units: mm
display: No stored cycles



ET201011 (0-50 Hz)

Units : MM
Display : No stored cycles

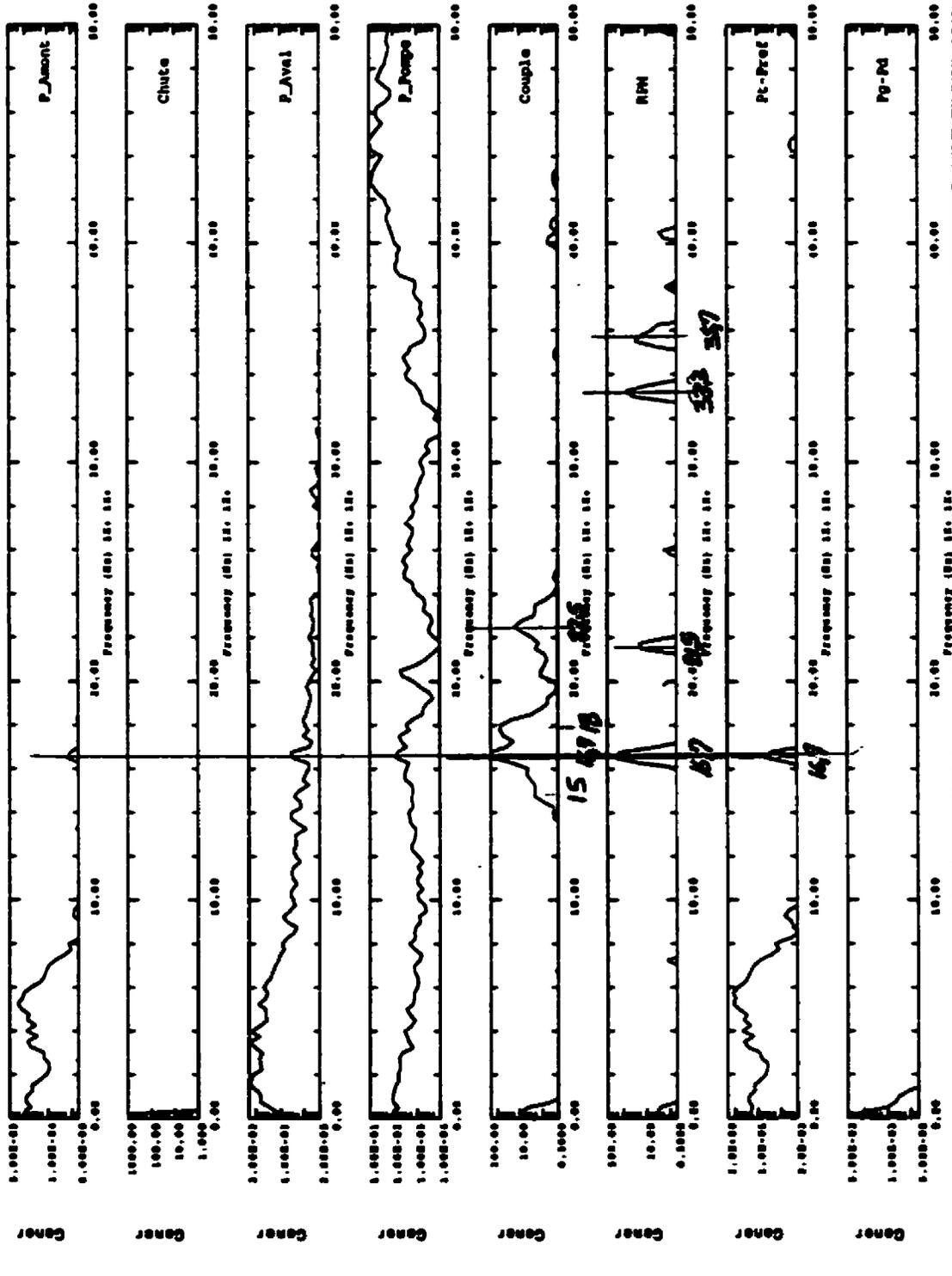
Database: analyses
View : No stored view



ET201012 (0-50 Hz)

Database: analytical@nrc
View: No stored View

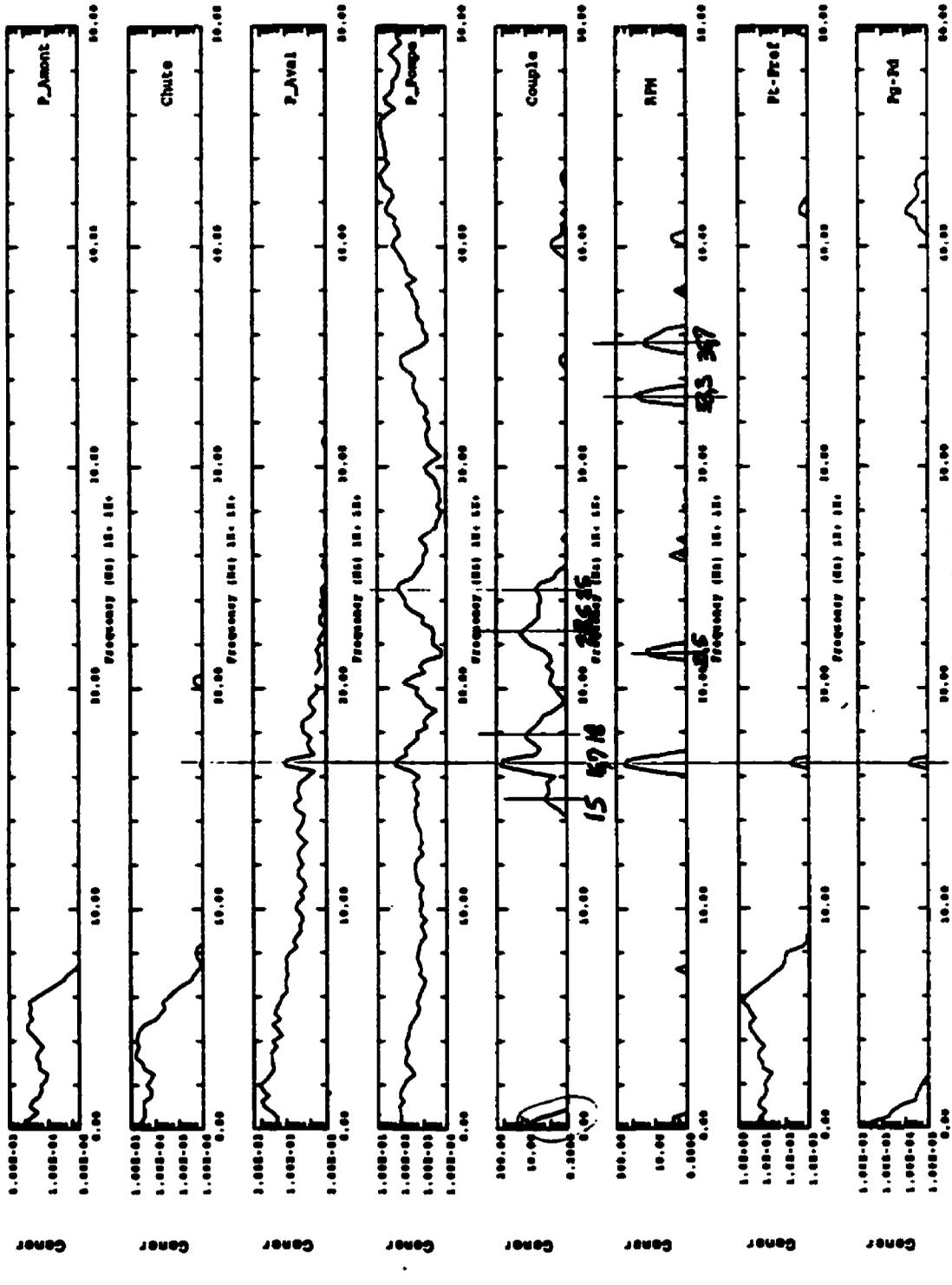
Units: MM
Display: No stored Option



ET201021 (0-50 Hz)

Database: anelysodmgniguo
View : No stored View

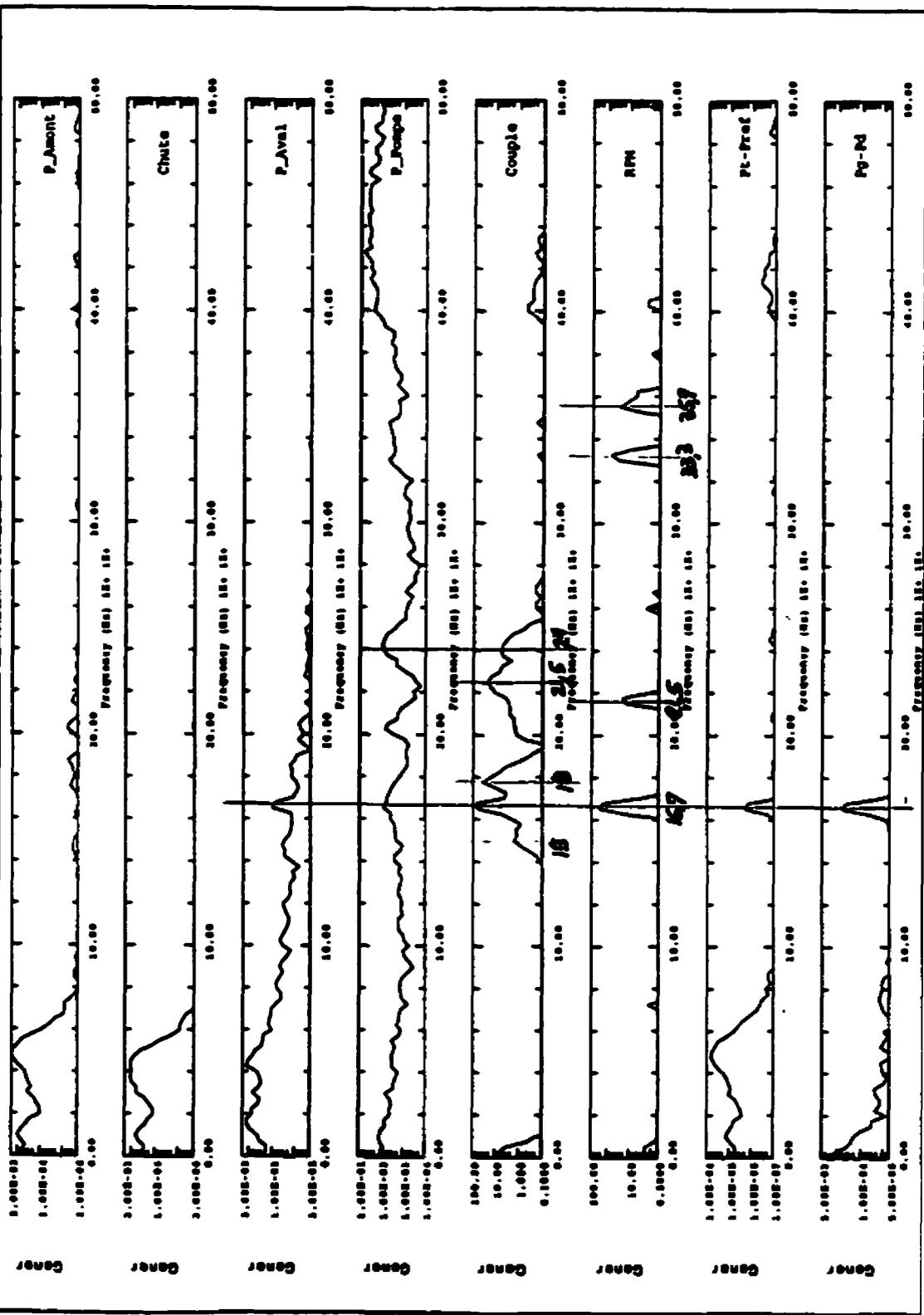
Units : MM
Display : No stored Option



ET201031 (0-50 Hz)

Database: Analyzedynamics
View: No stored OpSize

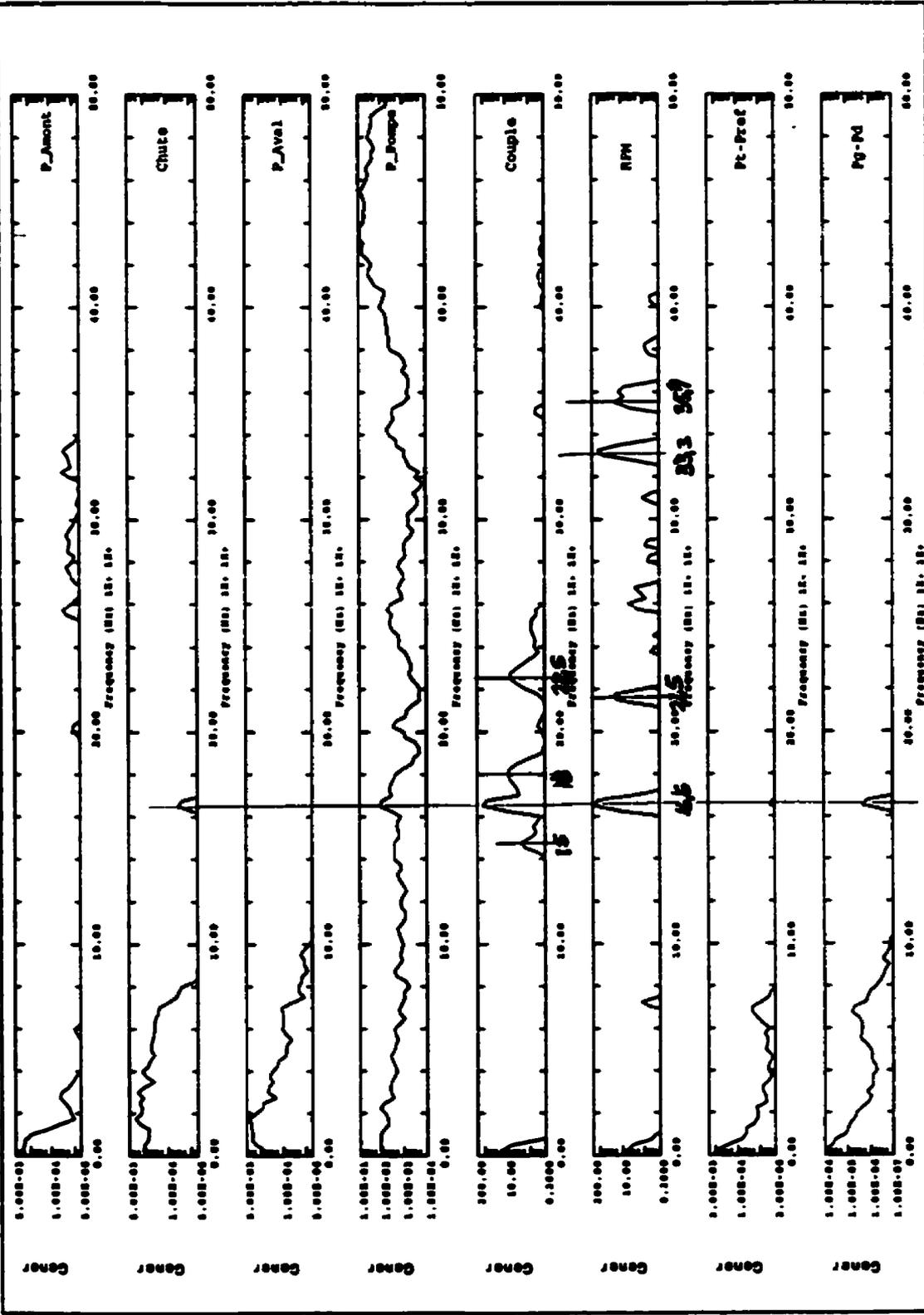
Units: mm
Display: No stored OpSize



ET201041 (0-50 Hz)

Database: anisodynamic
View : No stored View

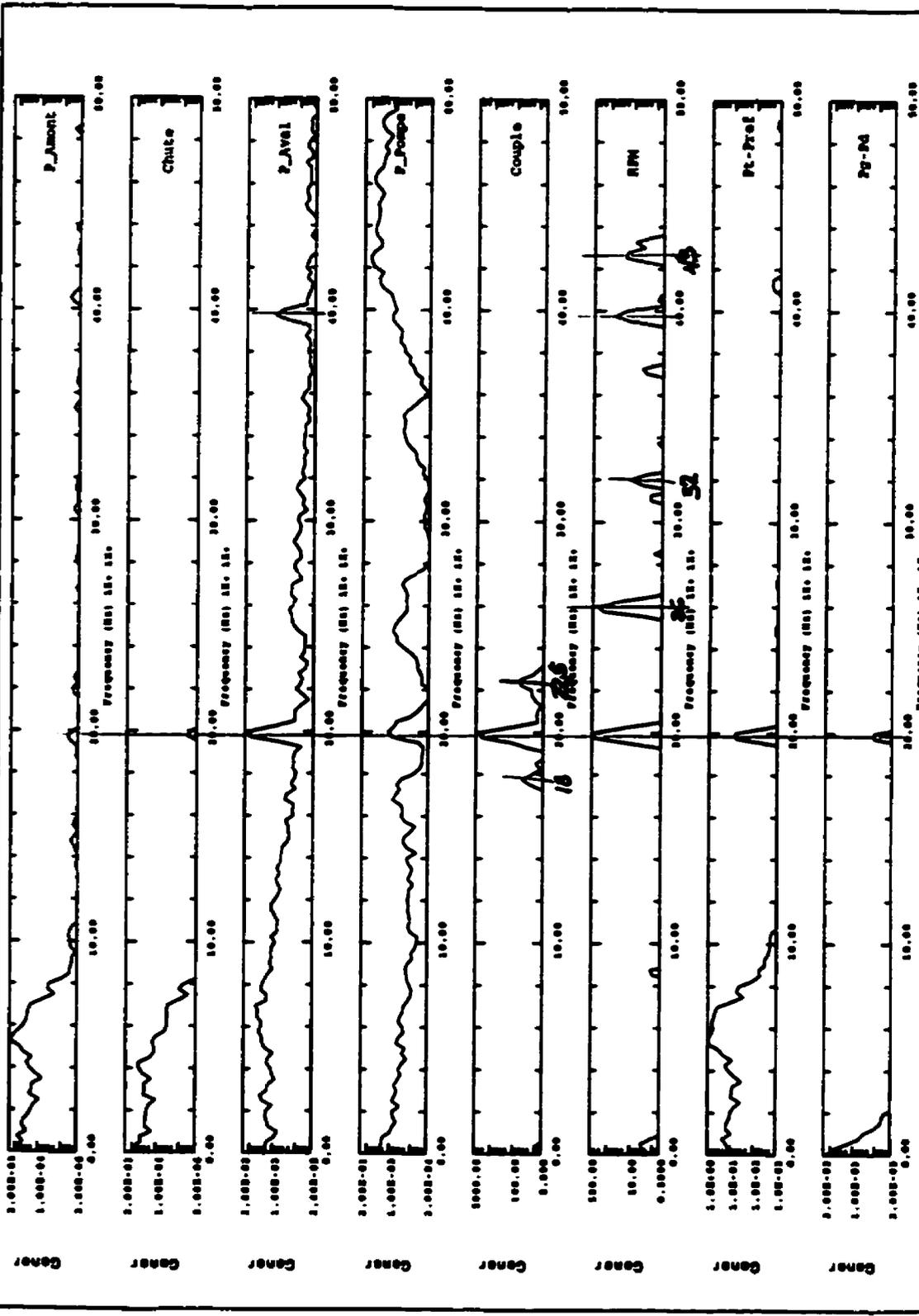
Units : dB
Display : No stored Cycle



ET201211 (0-50 Hz)

Database: Analyzedynamics
View: No stored View

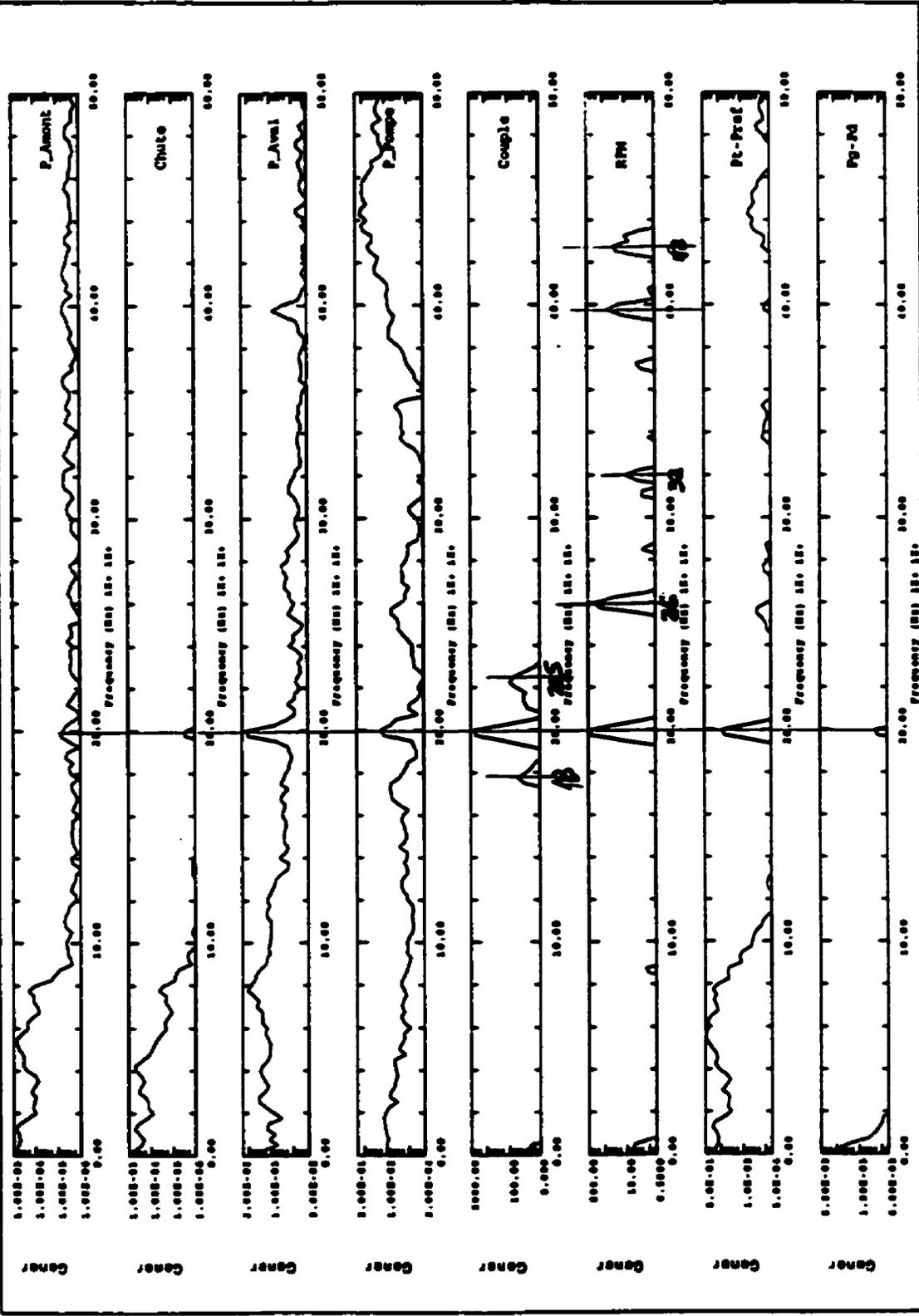
Units: MM
Display: No stored Option



ET201212 (0-50 Hz)

Database: analysedynamique
View : No stored View

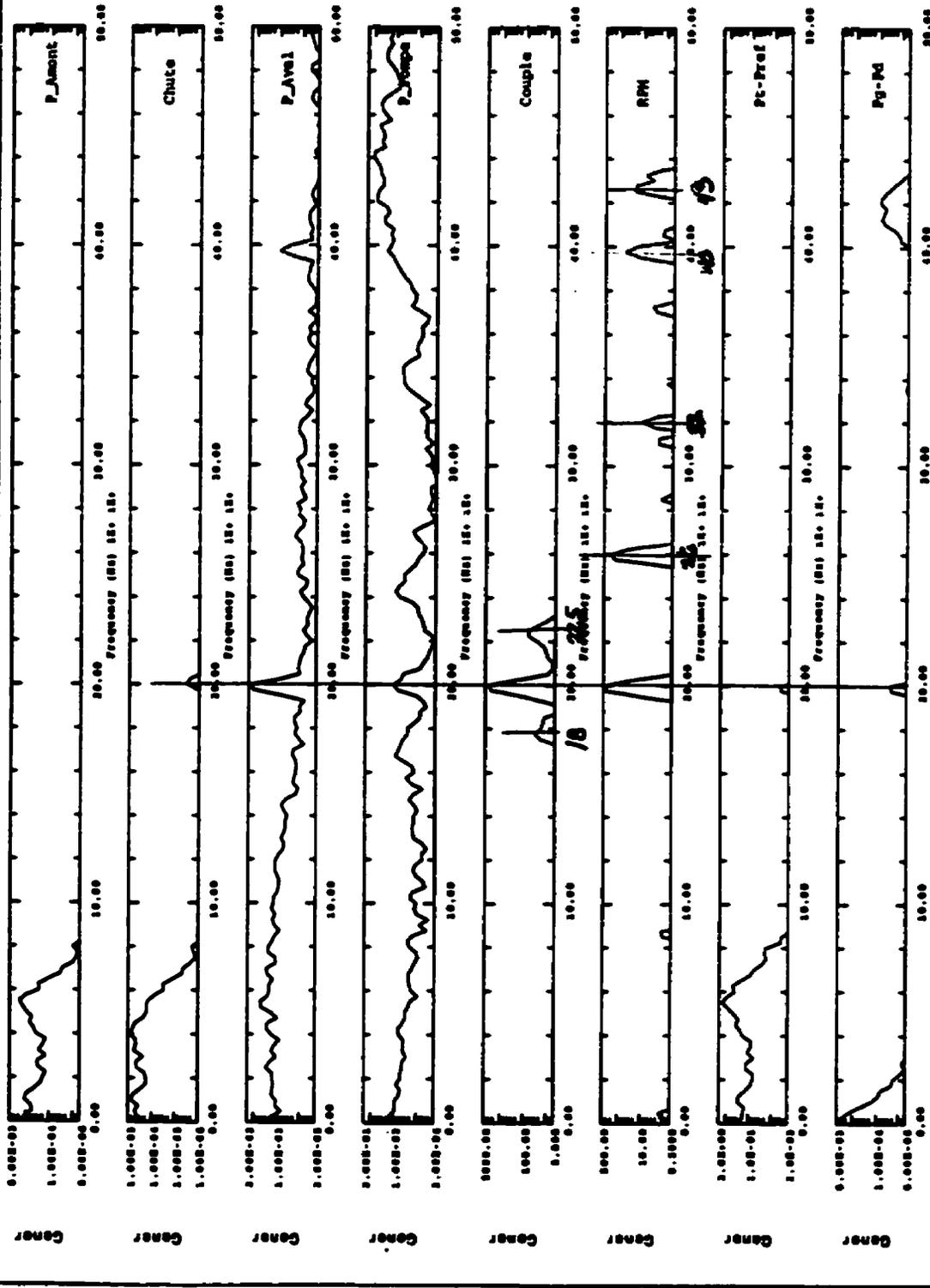
Units : MM
Display : No stored Option



ET201221 (0-50 Hz)

Database: analogynalog
View: No stored View

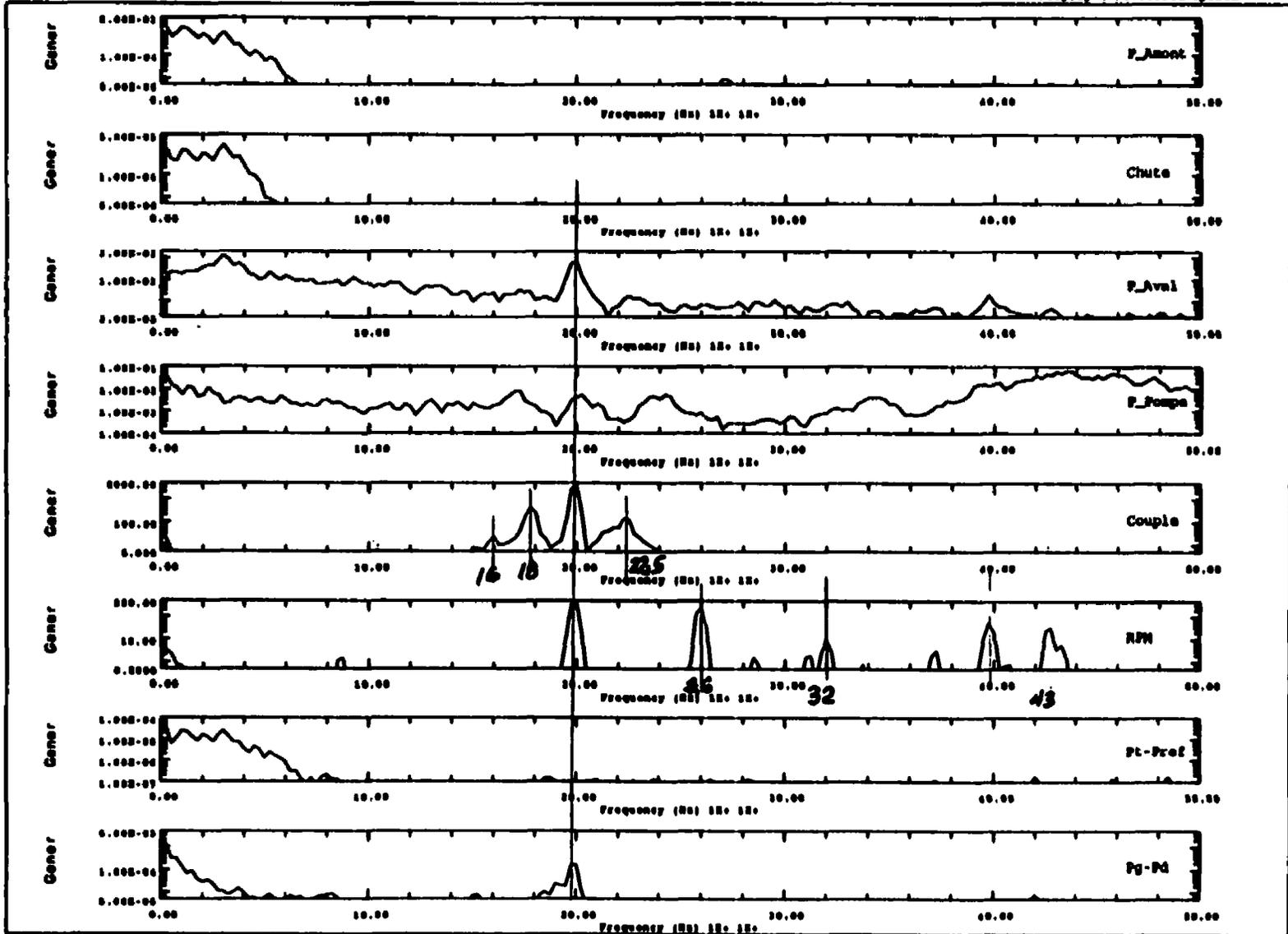
Units: MM
Display: No stored Option



ET201231 (0-50 Hz)

Database: analyzdynamic
View : No stored View

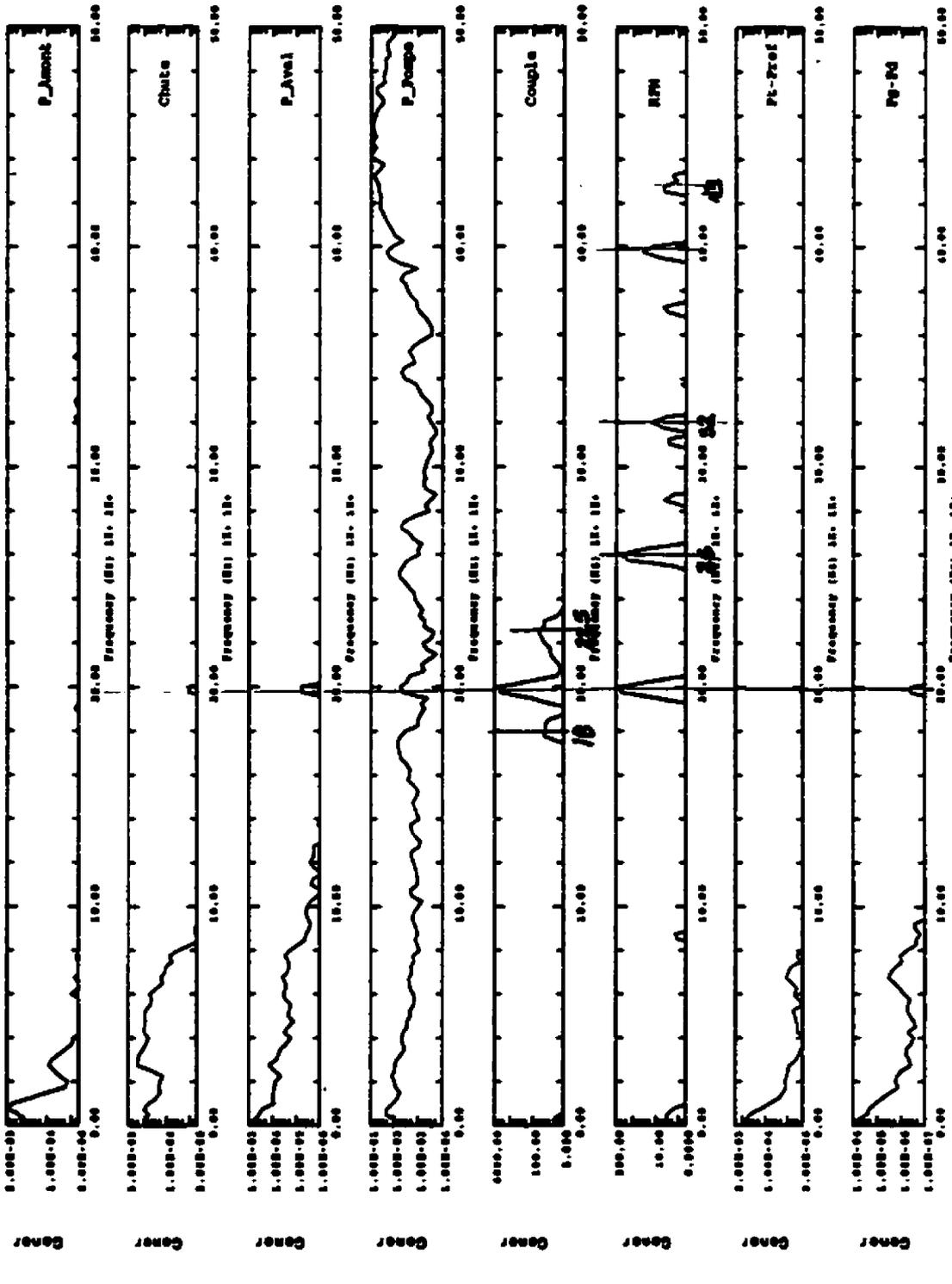
Units : MM
Display : No stored Option



ET201241 (0-50 Hz)

Database: analysis\analysis
View: No stored View

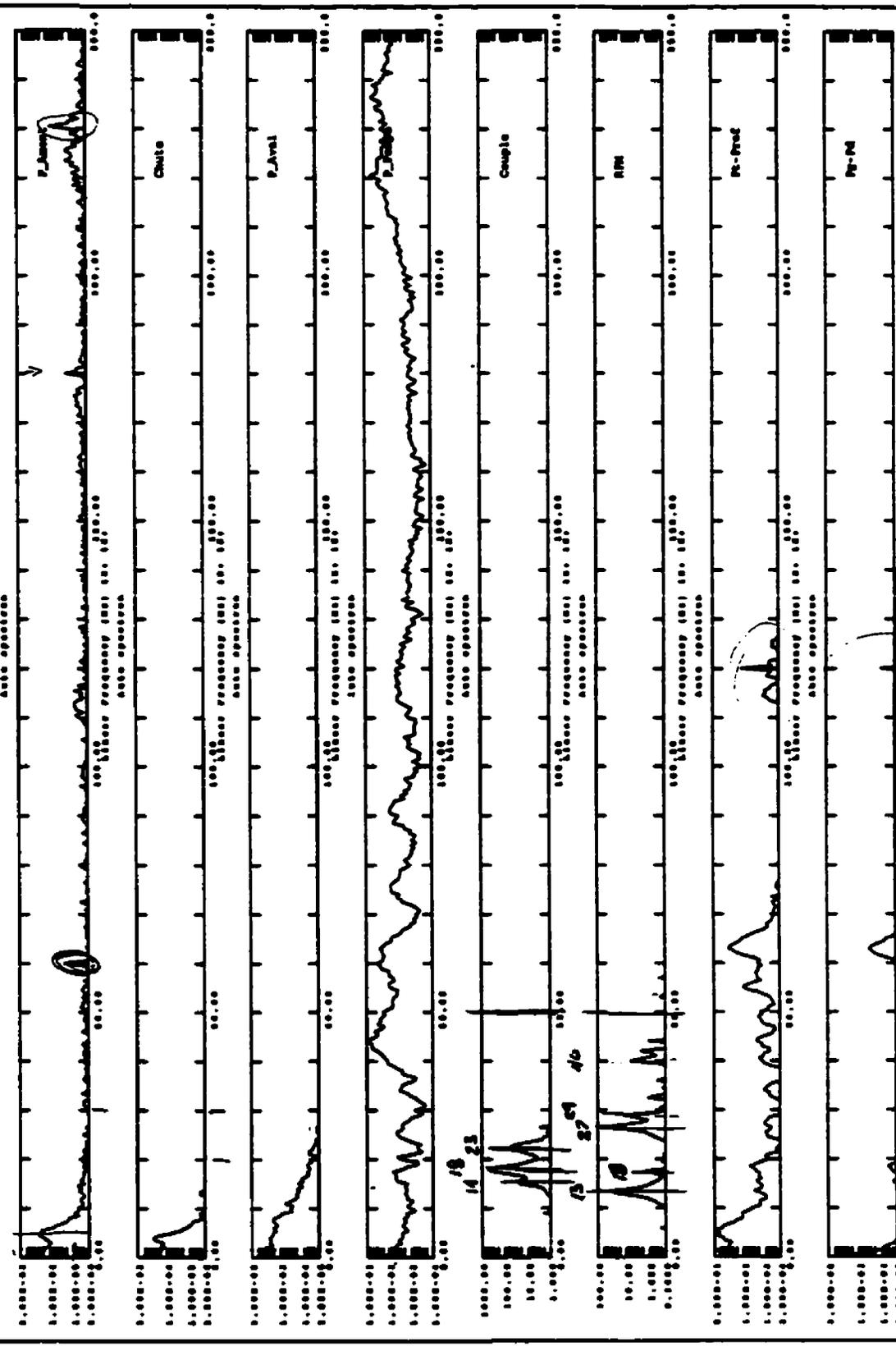
Units: MI
Display: No stored Option



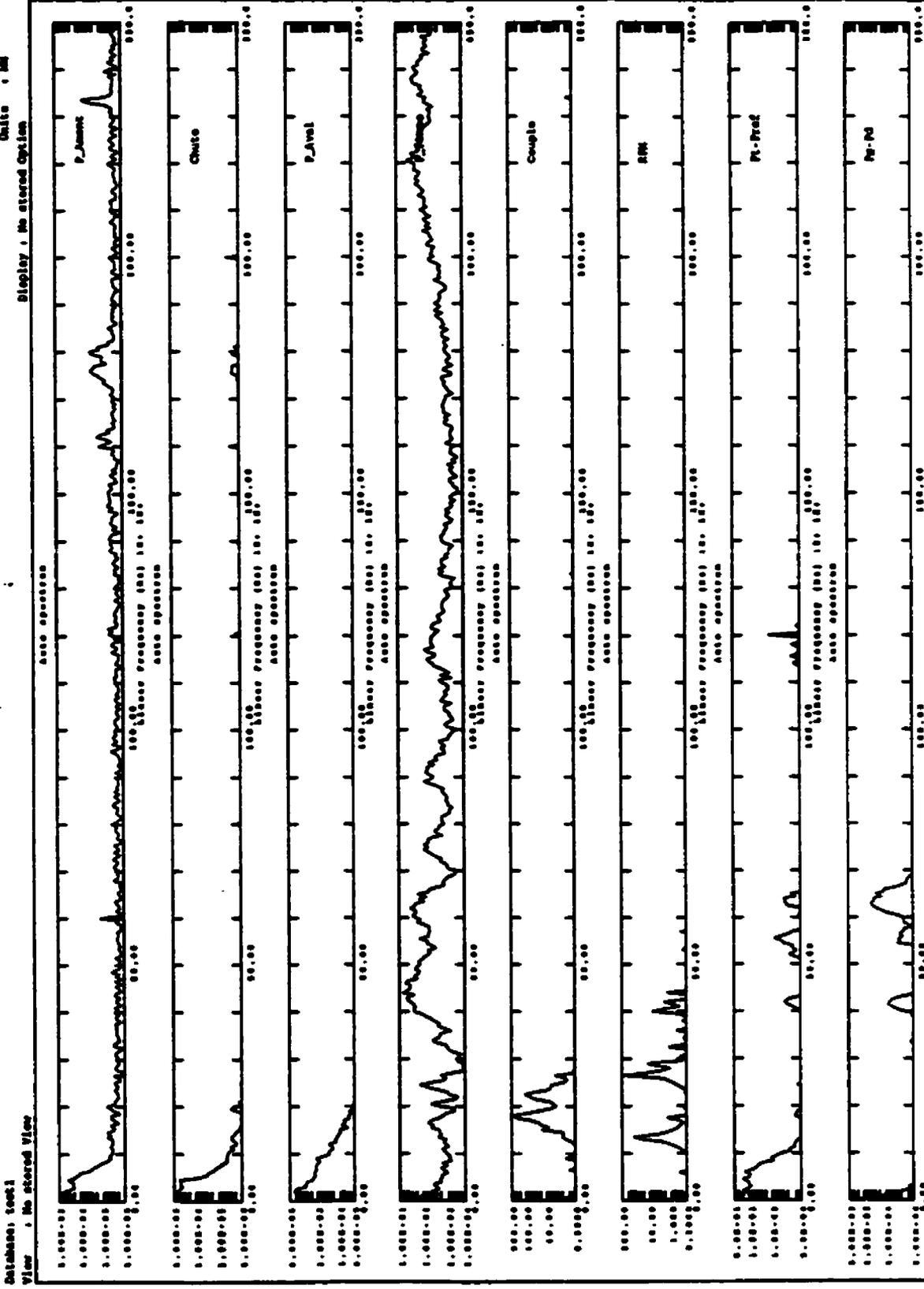
ET200811 (0-250 Hz)

Decompose (cont)
View : No stored Options

Display : No stored Options



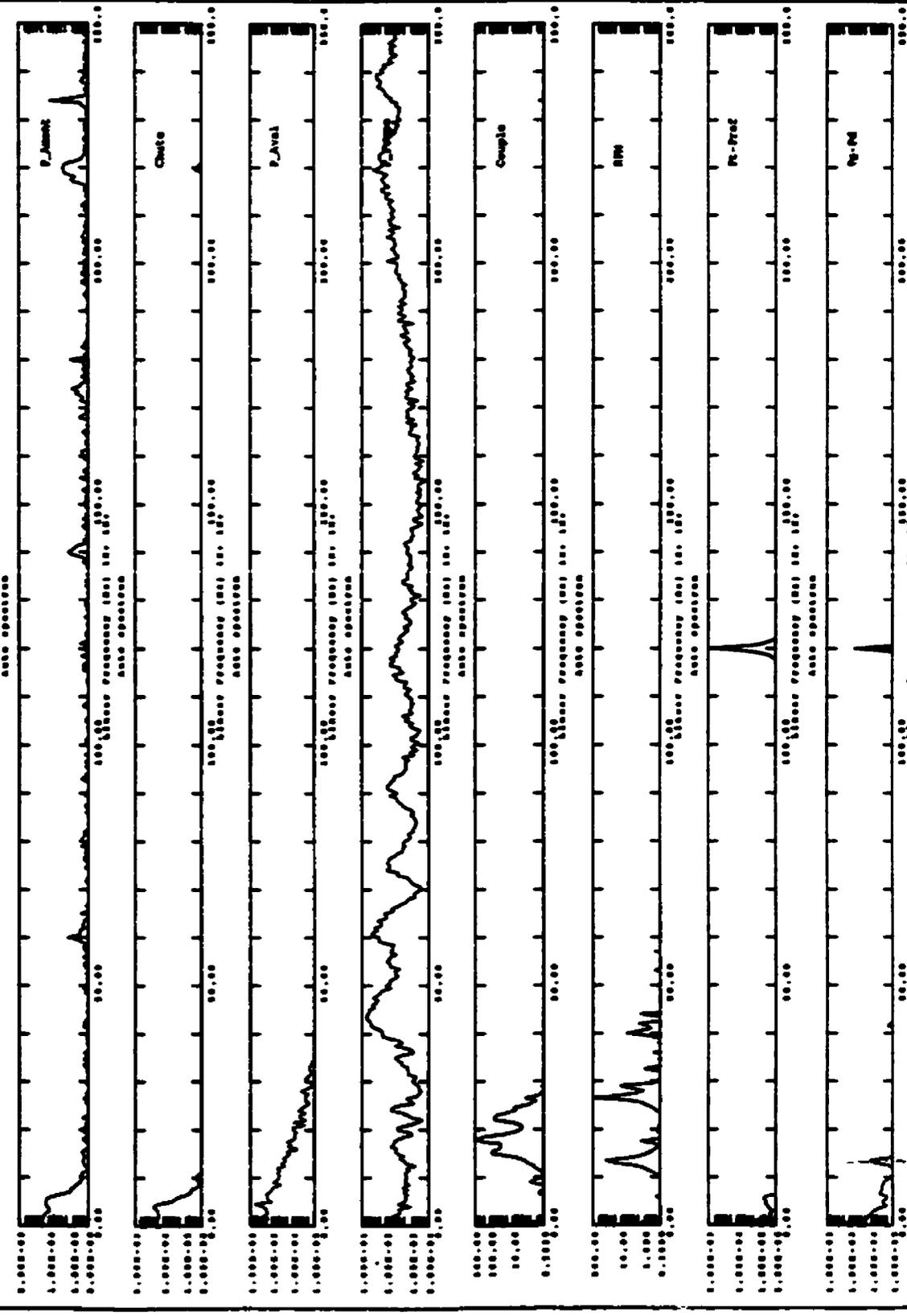
ET200821 (0-250 Hz)



ET200831 (0-250 Hz)

Database: test1
View : No stereo View

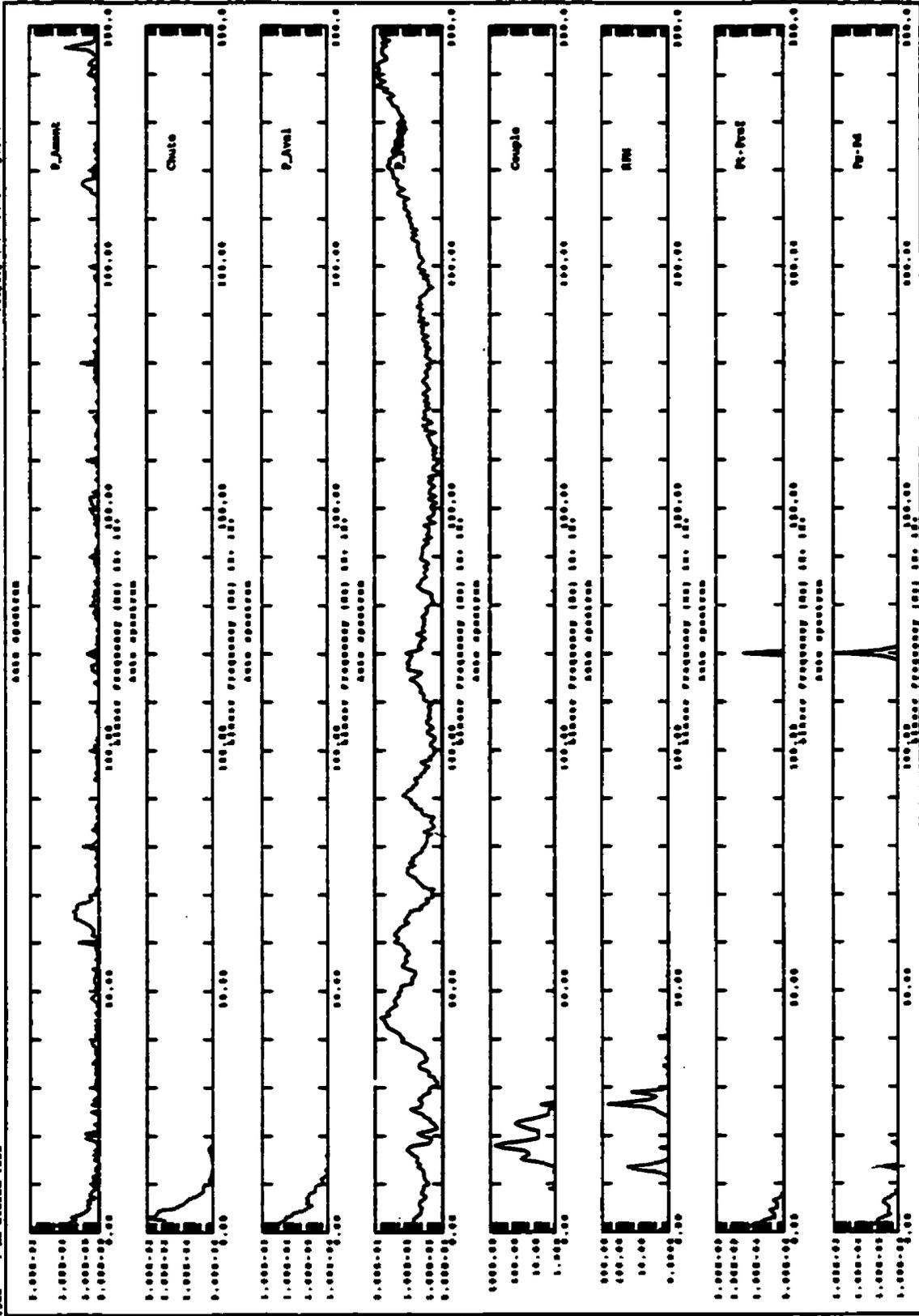
Units : MI
Display : No stereo Option



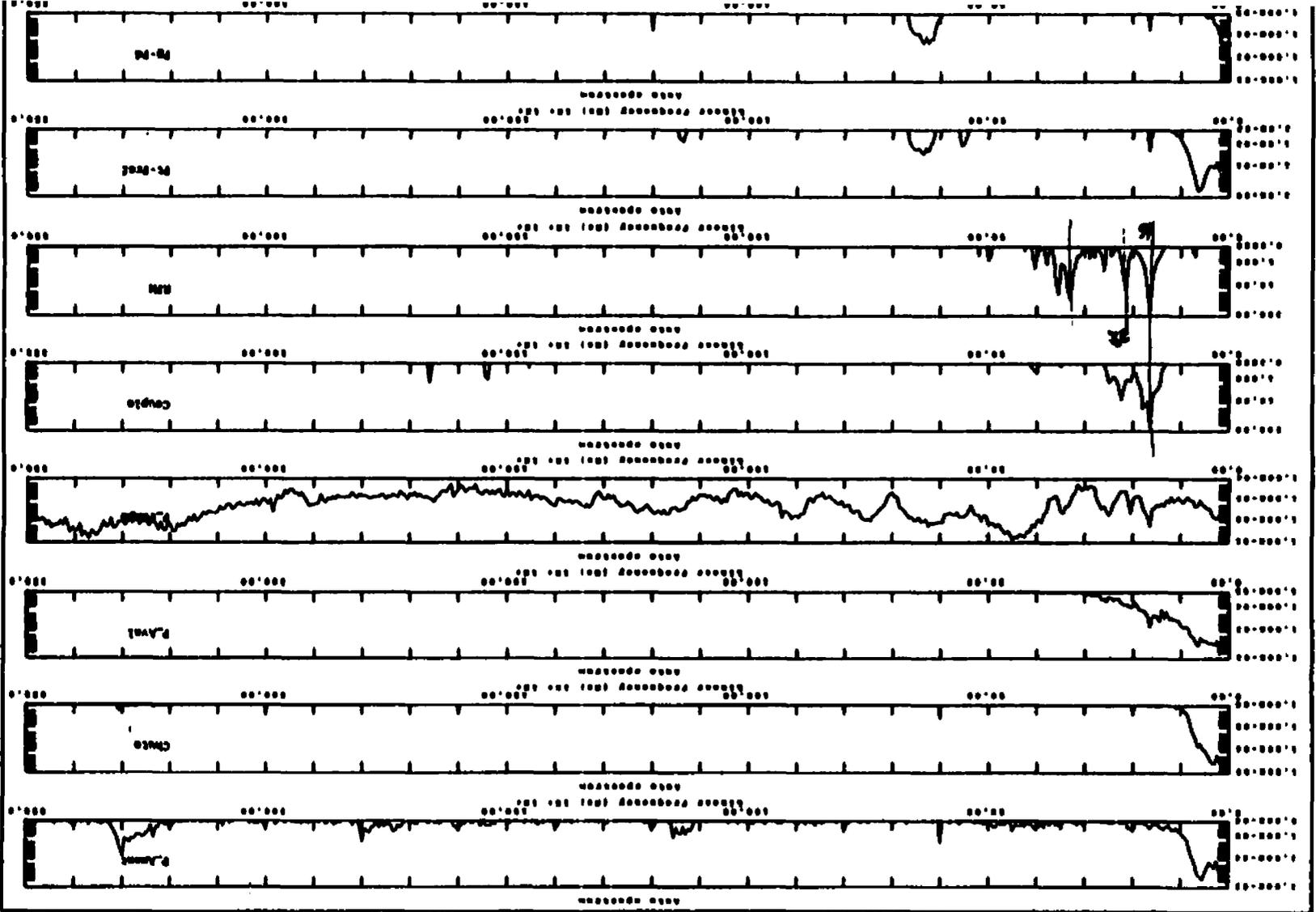
ET200841 (0-250 Hz)

Autoscan: Level
View : No stored View

Units : dB
Display : No stored Option



FT201011 (0-250 Hz)



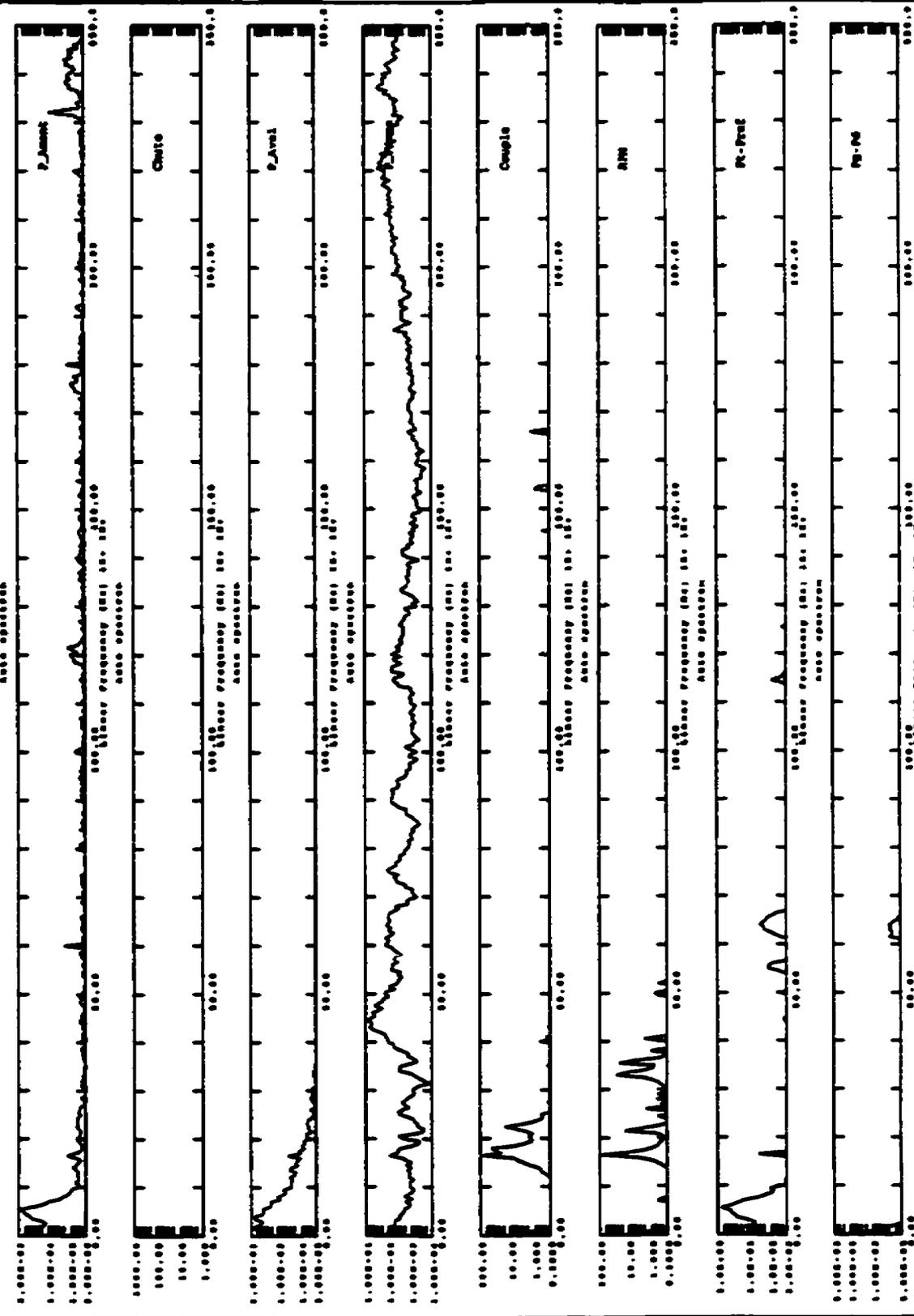
Display : No stored Option

Display : No stored Option

ET201012 (0-250 Hz)

Display : No stored Option

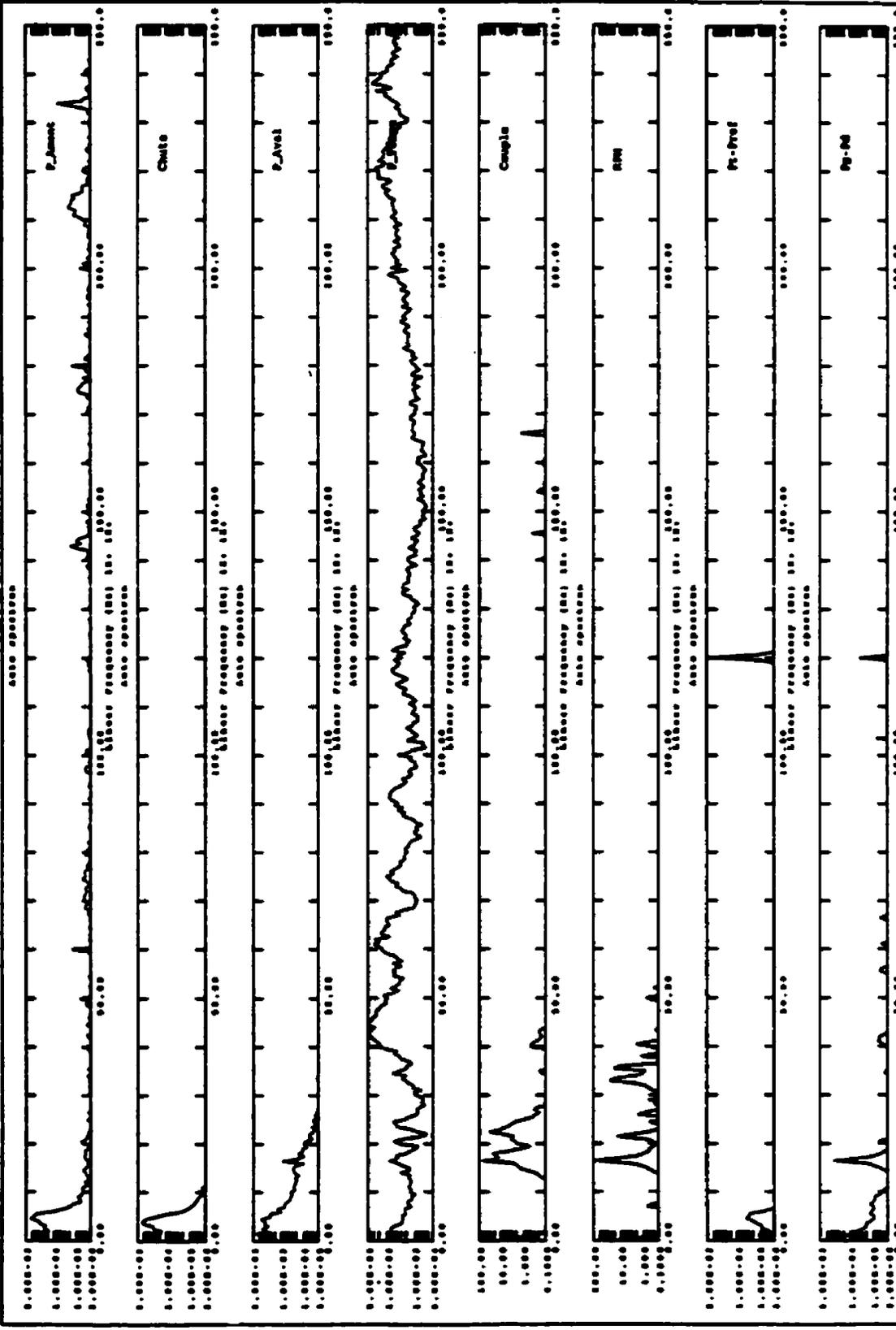
View : No stored View



ET201031 (0-250 Hz)

untitled.cocac
View 1 No stored View

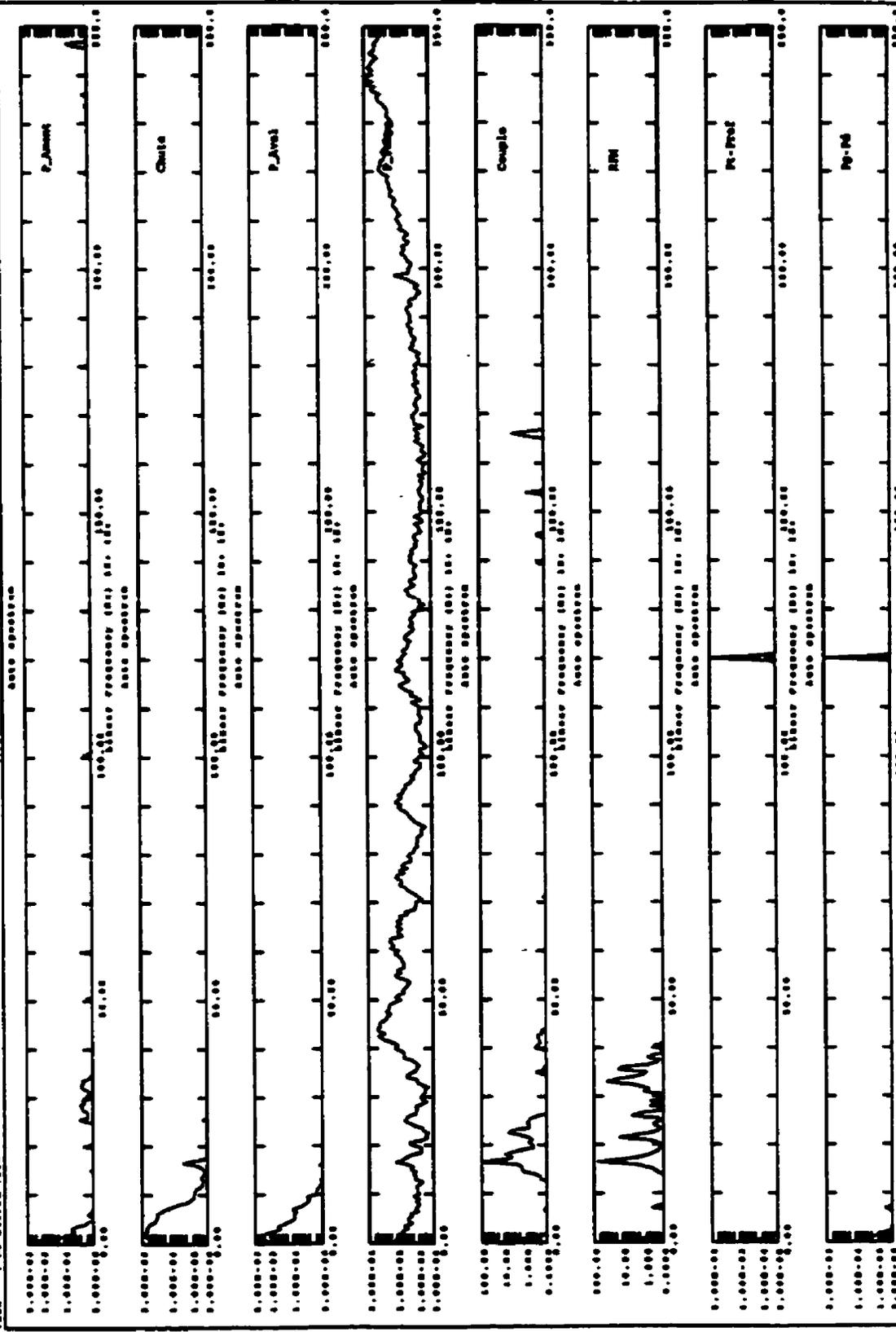
Display 1 No stored Option
Units : MHz



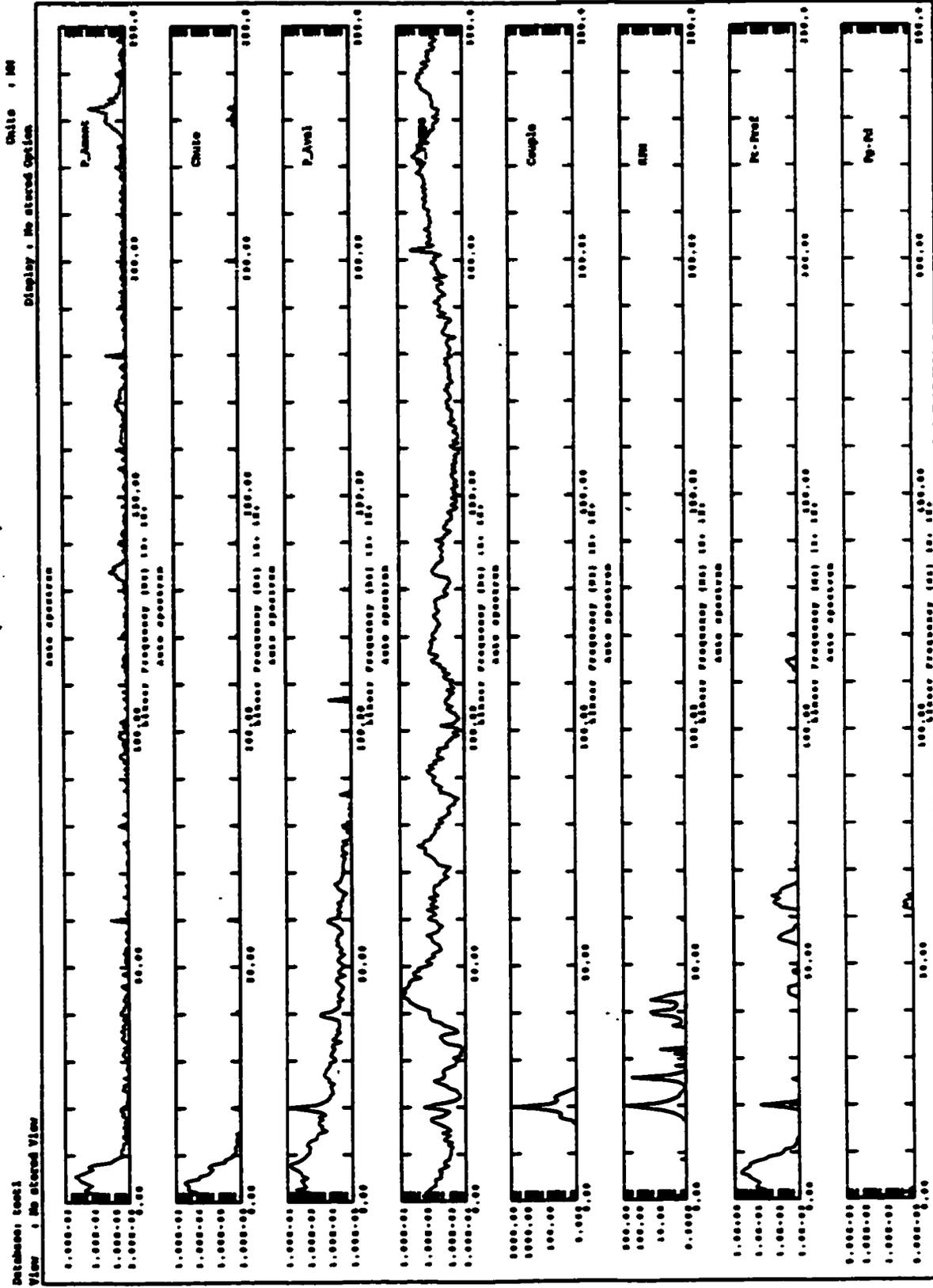
ET201041 (0-250 Hz)

Units : 100
Display : No stored Option

Database: test1
View : No stored View



ET201212 (0-250 Hz)



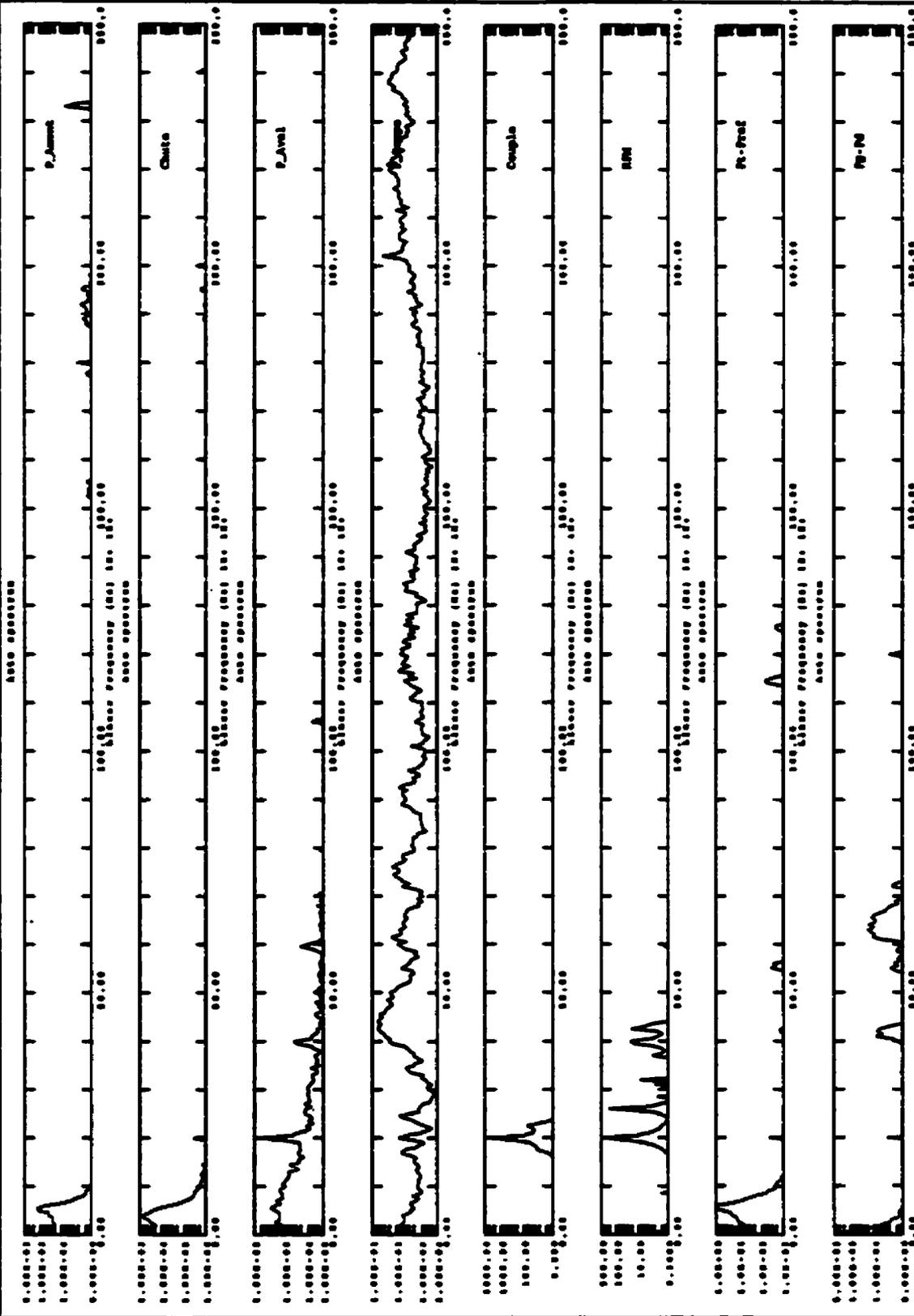
ET201221 (0-250 Hz)

Database: test1

View : No Stereod View

Units : dB

Display : No Stereod Option



ANNEXE F

Compléments mathématiques

Complément 1 : Intervalle de confiance à 95% [15, 22]

Supposons que l'on définisse un certain nombre d'intervalles dans l'étendu des lectures, avec Z le nombre de lectures qui se retrouvent dans chacun de ces intervalles, tel que :

$$Z = (\text{nb de lectures dans un intervalle} / \text{nb total de lectures}) / \text{largeur de l'intervalle}$$

À la limite, avec une infinité de données relevées pour une variable aléatoire x et des intervalles infiniment petits, on définit la fonction de densité de probabilité comme :

$$Z = f(x)$$

Alors, la probabilité de lire une donnée dans un intervalle entre a et b est donnée par :

$$P(a < x < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (39)$$

On définit également la *fonction de distribution cumulative* :

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (40)$$

La fonction normale (ou gaussienne), à laquelle on suppose que les données de l'étude répondent, est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty \quad (41)$$

où μ est la valeur moyenne :

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (42)$$

σ est l'écart type :

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N-1}} \quad (43)$$

N est le nombre de données

X_i est une lecture individuelle.

Pour une distribution gaussienne, on a 95% des lectures dans l'intervalle $\pm 2\sigma$ de μ .

Complément 2 : Test du χ^2 (χ^2) [15, 22]

Une bonne méthode de vérifier si une série de données est gaussienne est le test du χ^2 . On commence par ordonner les données de la plus petite à la plus grande valeur, puis on les regroupe en n groupes. Pour assurer la validité du test on doit avoir au moins 20 données dans l'échantillon et un minimum de 5 données par groupe. Alors :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_0 - n_e)^2}{n_e} \quad (44)$$

où n_0 est le nombre de données actuellement observées dans un groupe
 n_e est le nombre de données qu'on aurait dans un groupe si la distribution était gaussienne

Le nombre n_e est obtenu d'une table adimensionnelle tel que :

$$F(w) = \text{probabilité que les lectures soient dans une gamme de } -\infty \text{ à } w \\ \text{avec } w = (x - \mu) / \sigma$$

Ici x est la valeur de la limite d'un intervalle de l'échantillon, w est son correspondant adimensionnel, et $F(w)$ est une probabilité entre 0 et 1.0. La valeur de n_e est obtenue de la multiplication de la probabilité adimensionnelle $F(w)$ de trouver des valeurs dans l'intervalle demandé avec le nombre de lectures dans l'échantillon.

Il faut maintenant interpréter les résultats du test du χ^2 . Pour ce faire, on aura besoin du nombre de degrés de liberté d'une distribution pour le test du χ^2 , qui est défini comme le nombre n choisi de groupes moins 3.

Pour l'interprétation, Doebelin [22] utilise $P(\chi^2)$, qui est la probabilité d'obtenir pour l'échantillon une valeur de χ^2 égale ou plus grande à celle qu'on obtiendrait avec une distribution gaussienne. On peut trouver la valeur $P(\chi^2)$ dans une table de mathématiques, en fonction du nombre de degrés de liberté du test. Cette valeur s'interprète comme la probabilité qu'un échantillon, d'une taille limitée et pour lequel la valeur de χ^2 est non nulle, soit tout de même gaussien.

Bendat et Piersol [15], quant à eux, utilisent la probabilité de queue de la fonction de densité cumulative :

$$1 - F(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx \quad (45)$$

qui correspond à l'intervalle de confiance recherché. On compare la valeur de χ^2 que l'on obtient avec les données, pour le nombre de degrés de liberté qu'on a, avec celle que l'on obtiendrait pour un échantillon gaussien (obtenue également d'une table de mathématiques). Si la valeur de χ^2 calculé pour l'échantillon est plus petite ou égale à la valeur théorique, alors l'échantillon est conforme, sinon il ne respecte pas l'intervalle de confiance choisi.

Plus l'intervalle de confiance est petit, plus l'échantillon se rapproche de l'hypothèse. À la section 5.1.3, la Table XV présente le complément à 100% de cet intervalle. Ainsi une valeur de 97.5% indique un intervalle de confiance requis de 2.5% et par conséquent un échantillon très près de l'hypothèse. Inversement, un échantillon s'éloignant de l'hypothèse aura un intervalle de confiance requis beaucoup plus grand et un complément à 100% beaucoup plus faible. Pour simplifier l'analyse on peut donc dire qu'une valeur dans la Table XV de 100% indique un échantillon respectant parfaitement l'hypothèse, alors qu'une valeur de 0% indique l'autre extrême, soit le rejet parfait de l'hypothèse.

Complément 3 : Transformée rapide de Fourier (FFT) [15]

La transformée de Fourier est un outil d'analyse mathématique permettant de représenter dans le domaine fréquentiel une fonction définie originellement dans le domaine temporel. Cet outil est basé sur les séries de Fourier.

Une série de Fourier permet de représenter une fonction périodique $x(t)$ continue et ayant une période fondamentale T_p par une sommation de sinus et de cosinus :

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} [a_i \cos(2\pi f_i t) + b_i \sin(2\pi f_i t)] \quad (46)$$

f_i est la fréquence fondamentale : $f_i = 1/T_p$

et les coefficients a_i et b_i sont définis par :

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) \cos(2\pi f_i t) dt & i=0, 1, 2, \dots, \infty \\ b_i &= \frac{2}{T_p} \int_0^{T_p} x(t) \sin(2\pi f_i t) dt & i=0, 1, 2, \dots, \infty \end{aligned} \quad (47)$$

La fonction $x(t)$ est ainsi définie par une somme de sinus et de cosinus ayant des périodes différentes. La transformée de Fourier permet donc de transposer une fonction périodique temporel dans le domaine des fréquences.

$$F\{x(t)\} = X(f) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt = X_R(f) - jX_I(f) \quad (48)$$

où les coefficients X_R et X_I sont définis par :

$$\begin{aligned} X_R &= \int_0^{\infty} x(t) \cos(2\pi f t) dt \\ X_I &= \int_0^{\infty} x(t) \sin(2\pi f t) dt \end{aligned} \quad (49)$$

Le résultat de la transformée de Fourier est donc une fonction complexe. En multipliant cette fonction complexe par son conjugué, $X^*(f) = X_R + jX_I$, on obtient la norme de la transformée de Fourier $|X(f)|^2$, aussi appelé spectre d'énergie.

Cependant, lorsqu'on effectue des mesures on obtient un échantillon discret de longueur finie. On a alors une fonction $x(i\Delta t)$, pour $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$, définie à des intervalles de temps discrets Δt . Pour une telle fonction on définit la fréquence d'échantillonnage f_{ech} et le temps d'observation T .

$$f_{ech} = 1/\Delta t T = N / \Delta t = N / f_{ech}$$

La transformée de Fourier discrète aura alors N fréquences discrètes f_k espacées d'une valeur de $\Delta f = f_{ech}/N$.

$$X(f_k, T) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i\Delta t) e^{-j2\pi f_k i \Delta t} \Delta t \quad \text{tel que } f_k = k \Delta f \quad \text{pour } k=1, 2, 3, \dots, N \quad (50)$$

Le résultat de cette équation présente toujours une symétrie entre $N/2$ fréquences positives et $N/2$ fréquences négatives. La fonction résultante comporte alors $N/2$ fréquences f_k comprises entre f_{ech}/N et $f_{ech}/2$. Cette limite supérieure est appelée fréquence de coupure f_c de l'échantillonnage.

La transformée de Fourier discrète impose donc d'effectuer N^2 additions et multiplications complexes. L'utilisation d'un algorithme de transformée de Fourier rapide (FFT) permet d'effectuer moins d'opération et d'accélérer le calcul. Pour un échantillon de grandeur $N = 2^m$ ces algorithmes permettent de réduire les calculs à $N \times m$ additions complexes et $N/2 \times (m-1)$ multiplications complexes. La FFT permet ainsi de réduire de N^2 opérations d'additions et de multiplications complexes à $N \log_2 N$.

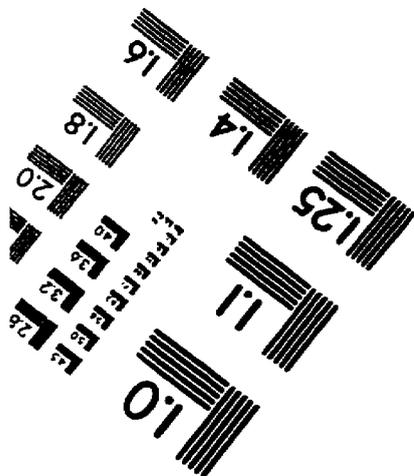
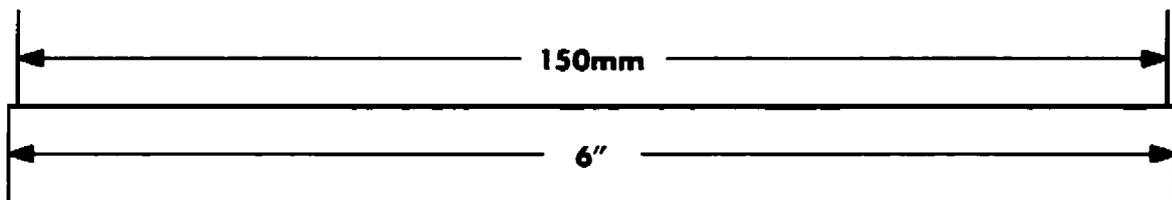
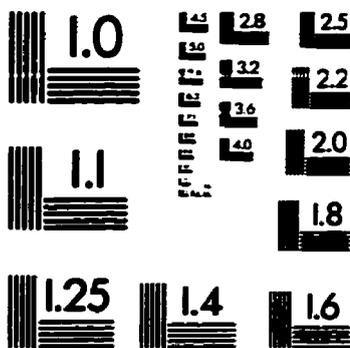
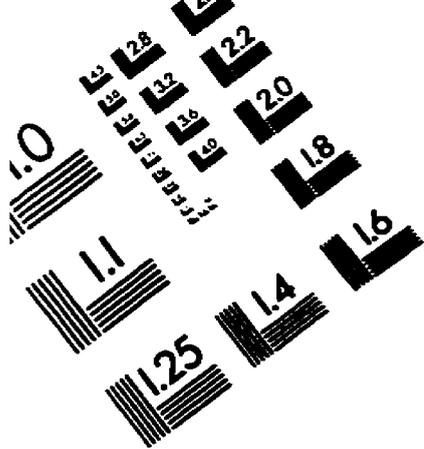
Le principe générale de la FFT est le suivant :

Une transformée de Fourier discrète de taille N peut être réécrite comme étant la somme de deux transformées de Fourier discrètes de taille $N/2$ chacune.

Il s'agit donc d'appliquer ce principe jusqu'à l'obtention de $N/2$ transformées de taille 2 chacune.

La transformée discrète $X(f, T)$ ainsi obtenu par la FFT sera ensuite utilisée pour les spectres discrets de puissances $(1/T) |X(f, T)|^2$ et d'énergies $|X(f, T)|^2$. Ces spectres seront à leurs tour utilisés pour faire différentes analyses dans le domaine des fréquences.

TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE . Inc
1653 East Main Street
Rochester, NY 14609 USA
Phone: 716/482-0300
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved