

SOMMAIRE

NOTATIONS ET SYMBOLES	I
LISTE DES FIGURES	II
LISTE DES TABLEAUX	IV
INTRODUCTION.....	1
PRESENTATION DE LA COMPAGNIE AIR MADAGASCAR.....	2
PARTIE I: LE SYSTEME DE NAVIGATION PN 101 ET L'INDICATEUR RADIO MAGNETIQUE	5
CHAP.1 : LE SYSTEME DE NAVIGATION PN-101	5
1. ROLE DU SYSTEME PN-101	5
2.LES ELEMENTS CONSTITUANTS LE SYSTEME PN-101.....	5
3.FONCTIONNEMENT ET CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS DU SYSTEME.....	18
4.POLITIQUE D'ENTRETIEN DU SYSTEME PN-101	29
5.AMELIORATION DU SYSTEME PN-101.....	29
6.APPLICATION DES SYSTEMES ASSERVIS SUR LE SYSTEME DE NAVIGATION	29
CHAP.2: L'INDICATEUR RADIO MAGNETIQUE	35
1. ROLE DE L'INDICATEUR RADIO MAGNETIQUE	35
2.DESCRPTION DE L'INDICATEUR RADIO MAGNETIQUE 332C-4.....	35
3.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	36
4.CARACTERISTIQUES TECHNIQUES.....	36
CHAP.3: DESCRIPTION ET MISE EN OEUVRE DU BANC	38
1.ROLE DU BANC	38
2.DESCRPTION DU BANC.....	38
3.COMBINAISONS D'ESSAI	39
4.SEQUENCES DE TEST ET LES POINTS DE TEST.....	40
PARTIE II : CONCEPTION ET REALISATION DE LA CARTE D'ACQUISITION DES SIGNAUX ISSUS DU PN-101	50
CHAP.1 : CARACTERISTIQUES DES SIGNAUX ISSUS DU BANC D'ESSAI.....	52
CHAP.2 : DESCRIPTIONS GENERALES DE LA CARTE D'ACQUISITION	57
1.PRINCIPE DE L'ACQUISITION DES DONNEES	57

2.ROLE DES DIFFERENTS COMPOSANTS	58
3.MODE DE CONNEXION AU PORT DE SORTIE DU CALCULATEUR NUMERIQUE	59
4.REALISATION DU SOFTWARE	62
5.LES COMPOSANTS ELECTRONIQUES DE LA CARTE D'ACQUISITION	69
CHAP.3 : CONCEPTION DE L'INTERFACE GRAPHIQUE D'ACQUISITION ET MODE D'ACQUISITION SOUS MATLAB 5.3	86
1. LE PORT PARALLELE	88
2. LE LOGICIEL	95
3.APPLICATION.....	97
CONCLUSION	103
BIBLIOGRAPHIE.....	V
ANNEXE.....	VI

NOTATIONS ET SYMBOLES

[PN-101] = Pictorial Navigation 101 ;
[331A-6P] = Indicateur de route ;
[323A-3G] = Vanne de flux ;
[328A-3G] = Amplificateur d'asservissement ;
[332E-4] = [D.G.] gyroscope directionnel ;
[332C-4] = [R.M.I.] = Indicateur radio magnétique ;
[TX] = synchro transmetteur ;
[TR] = synchro récepteur ;
[K] = facteur de couplage entre primaire et secondaire ;
[ω] = pulsation de la tension d'excitation d'un synchro ;
[Θ] = l'angle de rotation de l'axe du rotor d'un synchro en sens anti-horaire ;
[V.O.R.] = Very high Omni directional Range;
[LOC.] = Localizer;
[G.S.] = Glide Slope;
[K_0] ou [K_z] = Moment cinétique d'un corps solide ;
[ω_1] ou [ω_2] = rotation angulaire d'un corps solide ;
[J_z] = Moment d'inertie d'un corps solide par à l'axe Z ;
[$M_0 (F_k^e)$] = Moment par rapport à O des forces extérieures F_k^e ;
[P] = poids d'un corps solide ;
[Γ_G] = couple gyroscopique ;
[B] = induction magnétique ;
[H] = champ d'induction magnétique ;
[1J1-] et [1J2-] = indiquent les connecteurs d'entrée/sortie de l'indicateur de route ;
[O-] = connecteur d'entrée/sortie de l'amplificateur type "O" ;
[G-] = connecteur d'entrée/sortie du gyroscope directionnel ;
[A/A-] = connecteur d'entrée/sortie de l'amplificateur d'asservissement ;
[V/F-] = connecteur d'entrée/sortie de la vanne de flux ;
[f_e] = fréquence d'échantillonnage ;
[C.A.N.] = Convertisseur Analogique Numérique ;
[f_c] = fréquence de coupure ;
[q] = quantum ;

LISTE DES FIGURES

FIGURE I-1- 1: PARTIES D'UN INSTRUMENT DE BORD	5
FIGURE I-1- 2: LE SYSTEME DE NAVIGATION PN-101	6
FIGURE I-1- 3: L'INDICATEUR DE ROUTE 331A-6P	7
FIGURE I-1- 4: SYNCHRO	7
FIGURE I-1- 5: SCHEMA ET SYMBOLE D'UN SYNCHRO	8
FIGURE I-1- 6: REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA VARIATION D'AMPLITUDE DE LA TENSION S ₁ S ₃	9
FIGURE I-1- 7: COURBE DES 3 TENSIONS STATORIQUES	10
FIGURE I-1- 8: SCHEMA ET SYMBOLE D'UN RESOLVER	10
FIGURE I-1- 9: ROTATION D'AXES	11
FIGURE I-1- 10: COURBE DE TENSION STATORIQUE D'UN RESOLVER	11
FIGURE I-1- 11: LA VANNE DE FLUX 323A-3G	12
FIGURE I-1- 12: REPERE ORTHONORME	13
FIGURE I-1- 13: GYROSCOPE DIRECTIONNEL 332E-4.....	13
FIGURE I-1- 14: GYROSCOPE AVEC TOUPIE CYLINDRIQUE	14
FIGURE I-1- 15: GYROSCOPE SOUMISE A UNE FORCE	15
FIGURE I-1- 16: MOUVEMENT DE PRECESSION DU GYROSCOPE.....	16
FIGURE I-1- 17: EFFET GYROSCOPIQUE.....	17
FIGURE I-1- 18: AMPLIFICATEUR D'ASSERVISSEMENT	18
FIGURE I-1- 19: ENSEMBLE BRAS NOYAU	21
FIGURE I-1- 20: CIRCUIT DE PROTECTION	23
FIGURE I-1- 21: FILTRE.....	23
FIGURE I-1- 22: ONDULEUR AUTONOME.....	24
FIGURE I-1- 23: ENSEMBLE REDRESSEUR ET FILTRE	24
FIGURE I-1- 24: AMPLIFICATEUR	25
FIGURE I-1- 25: MULTIVIBRATEUR 800HZ.....	25
FIGURE I-1- 26: DETECTEUR ET LIMITEUR	26
FIGURE I-1- 27: SERVO AMPLIFICATEUR Q16-Q18	26
FIGURE I-1- 28: SERVO AMPLIFICATEUR Q13-Q15	27
FIGURE I-1- 29: RELAIS K	27
FIGURE I-1- 30: SYNCHRO TRANSMETTEUR ET RECEPTEUR.....	28
FIGURE I-1- 31: TRANSMETTEUR DIFFERENTIEL DE COUPLE	28
FIGURE I-1- 32: RECEPTEUR DIFFERENTIEL DE COUPLE	28
FIGURE I-1- 33: ENSEMBLE TRANSMETTEUR-DIFFERENTIEL-RECEPTEUR	28
FIGURE I-1- 34: COMMANDE EN BOUCLE FERMEE.....	29
FIGURE I-1- 35: TRANSMISSION ELECTRIQUE AVEC AMPLIFICATION.....	30
FIGURE I-1- 36: COMPENSATION PAR ACTION DERIVEE	31
FIGURE I-1- 37: SYSTEME AVEC RESEAU CORRECTEUR DERIVATEUR	32
FIGURE I-1- 38: COMPENSATION PAR SIGNAL DERIVE	32
FIGURE I-1- 39: ASSERVISSEMENT DE VITESSE	34
FIGURE I-1- 40: SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN PILOTE AUTOMATIQUE	34
FIGURE I-2- 1: L'INDICATEUR RADIO MAGNETIQUE 332C-4.....	37
FIGURE I-2- 2: DIAGRAMME SCHEMATIQUE D'UN R.M.I.	37
FIGURE I-3- 1: LE BANC D'ESSAI DU SYSTEME PN-101 [A) = FACE ET B) = ARRIERE]	38
FIGURE I-3- 2: TEST DU DRAPEAU COMPAS.....	40
FIGURE I-3- 3 : TEST DU DRAPEAU NAV.....	41
FIGURE I-3- 4: TEST DU DRAPEAU G.S.	41
FIGURE I-3- 5: DEVIATION V.O.R. /LOC.....	42
FIGURE I-3- 6: POINTEUR TO /FROM.....	43
FIGURE 1: SCHEMA ELECTRONIQUE DE LA CARTE D'ACQUISITION.....	50
FIGURE 2: ROUTAGE DE LA CARTE D'ACQUISITION	51
FIGURE II-1- 1: POINTS DE TEST DU BANC D'ESSAI	52

FIGURE II-2- 1: SCHEMA DE PRINCIPE DE LA CHAINE D'ACQUISITION	57
FIGURE II-2- 2: REPLIEMENT DU SPECTRE	59
FIGURE II-2- 3: GEOMETRIE DU PORT SERIE.....	60
FIGURE II-2- 4: INTERFACE D'ACCUEIL	64
FIGURE II-2- 5: CONFIGURATION DU PORT SERIE	65
FIGURE II-2- 6: TESTS SUR LE BANC	65
FIGURE II-2- 7: OSCILLOSCOPE VIRTUEL DANS LE CAS DU TEST DU SYSTEME PN-101 ENSEMBLE.....	66
FIGURE II-2- 8: REponse INDICIELLE D'UN FILTRE DE BUTTERWORTH	69
FIGURE II-2- 9: REponse INDICIELLE D'UN FILTRE DE TCHEBYCHEV	69
FIGURE II-2- 10: APPROXIMATION DE BUTTERWORTH.....	70
FIGURE II-2- 11: FILTRE DE RAUCH	71
FIGURE II-2- 12: SIMULATION SUR CIRCUITMAKER 2000	72
FIGURE II-2- 13: DIAGRAMME DE BODE DU FILTRE DE BUTTERWORTH	73
FIGURE II-2- 14 : SCHEMA DE BASE D'UN ECHANTILLONNEUR-BLOQUEUR	73
FIGURE II-2- 15: EVOLUTION DU SIGNAL DE SORTIE PENDANT LES PHASES D'ECHANTILLONNAGE ET DE MAINTIEN	74
FIGURE II-2- 16: SCHEMA EQUIVALENT EN STATIQUE DE L'INTERRUPTEUR K	74
FIGURE II-2- 17: MANIFESTATION DES DEFAUTS DE K SUR LA SORTIE VS	75
FIGURE II-2- 18: ERREUR LIEE A LA CHARGE DE CH	75
FIGURE II-2- 19: VARIATION DE T_{ON} AVEC C_H	77
FIGURE II-2- 20: SCHEMA DU CIRCUIT LF398.....	78
FIGURE II-2- 21: PINS DU BOITIER DU CIRCUIT LF398.....	78
FIGURE II-2- 22: STRUCTURE INTERNE D'UN ECHANTILLONNEUR-BLOQUEUR.....	78
FIGURE II-2- 23: SCHEMA DU CONVERTISSEUR.....	80
FIGURE II-2- 24 : STRUCTURE SEQUENTIELLE DECALEE	82
FIGURE II-2- 25: DIAGRAMME DES PINS DE CONNECTIONS	83
FIGURE II-2- 26: MONTAGE D'UN OSCILLATEUR	84
FIGURE II-2- 27: SYMBOLE LOGIQUE DE 74LS164	85
FIGURE II-2- 28: DIAGRAMME LOGIQUE	85
FIGURE II-3- 1: MONTAGE INVERSEUR.....	86
FIGURE II-3- 2: INTERFACE AVANT LA CARTE SON.....	87
FIGURE II-3- 3: ROUTAGE DE LA CARTE PRE-CARTE SON.....	87
FIGURE II-3- 4: PORT PARALLELE.....	88
FIGURE II-3- 5: CONVERSION D'UNITE.....	94
FIGURE II-3- 6: ACCUEIL DU LOGICIEL AIRACQUISITION	96
FIGURE II-3- 7: LISTE DES TESTS.....	96
FIGURE II-3- 8 : OSCILLOSCOPE VIRTUEL.....	97
FIGURE II-3- 9 : ALLURE DE LA TENSION SANS FILTRE.....	97
FIGURE II-3- 10 : ALLURE DE LA TENSION.....	98

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I-1- 1: CORRESPONDANCE ENTRE POSITION ET TENSION INDUITE	9
TABLEAU I-1- 2: CARACTERISTIQUE TECHNIQUE ET SPECIFICATION DU 331A-6P	20
TABLEAU I-1- 3: SIGNAUX DU 331A-6P	20
TABLEAU I-1- 4: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA VANNE DE FLUX	22
TABLEAU I-1- 5: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU GYROSCOPE DIRECTIONNEL.....	22
TABLEAU I-3- 1: SEQUENCES DE TEST	49
TABLEAU II-1- 1: SIGNAUX PENDANT LE TEST DES DIFFERENTS MOTEURS.....	53
TABLEAU II-1- 2: SIGNAUX POUR LE TEST DE LA ROSE DES CAPS.....	53
TABLEAU II-1- 3: SIGNAUX PENDANT LE TEST DU GYROSCOPE DIRECTIONNEL	54
TABLEAU II-1- 4: SIGNAUX A LA SORTIE DE L'AMPLIFICATEUR.....	54
TABLEAU II-1- 5: SIGNAUX A VERIFIER PENDANT LE TEST DU 331A-6P+328A-3G+323A-3G.....	54
TABLEAU II-1- 6 : SIGNAUX A VERIFIER PENDANT LE TEST DE 331A-6P+328A-3G+332E-4	55
TABLEAU II-1- 7: SIGNAUX A VERIFIER PENDANT LE TEST DU SYSTEME PN-101	55
TABLEAU II-1- 8: SIGNAUX PENDANT LE TEST DE LA ROSE	56
TABLEAU II-1- 9: SIGNAUX PENDANT LA SEQUENCE DE TEST R.C.	56
TABLEAU II-1- 10: SIGNAUX PENDANT LA SEQUENCE DE TEST V.O.R.	56
TABLEAU II-2- 1: NOM DES BROCHES	60
TABLEAU II-2- 2: SYNTHESE DE FILTRE.....	72
TABLEAU II-2- 3: CHOIX DE LA DUREE DE FERMETURE EN FONCTION DE LA PRECISION RECHERCHEE.....	76
TABLEAU II-2- 4: TABLE DE VERITE DE CD 4051.....	83
TABLEAU II-2- 5: DESCRIPTION DES PINS.....	85
TABLEAU II-3- 1: BROCHE D'UN PORT PARALLELE	89
TABLEAU II-3- 2: DESCRIPTION DES PROPRIETES A CONSIDERER	94
TABLEAU II-3- 3: COMPARAISON DES 2 TECHNIQUES	98
TABLEAU II-3- 4: EFFET PHYSIOLOGIQUE DU COURANT DE FREQUENCE INDUSTRIELLE	100

INTRODUCTION

La Compagnie Air Madagascar est l'une des rares compagnies qui assure des vols nationaux et internationaux à Madagascar. Actuellement, le monde de l'aviation est touché par la mondialisation, aussi la compétition sera très rude ; il faut, par conséquent, que la compagnie possède les meilleures technologies possibles et des personnels hautement qualifiés pour faire face à la concurrence. Actuellement, l'activité de la Compagnie n'est pas limitée uniquement au transport, en effet elle possède l'agrément de maintenance PART 145 qui lui permet de fournir des activités d'entretien allant d'un élément d'aéronef et jusqu'à un aéronef complet et même s'il ne s'agit pas du sien. Dans ce cadre d'activités de maintenance, la Compagnie Air Madagascar possède des bancs d'essai pour effectuer des simulations pour connaître les lieux exacts des pannes sur les éléments de l'avion.

Aussi le sujet, offert par la Compagnie, intitulé : “ Etude d'un banc d'essai du système compas asservi type PN 101 sur DHC-6 Twin Otter“ a pour but de disposer de points de test sur ce banc d'essai afin de suivre l'évolution des signaux pendant les dépannages. Il faudra, pour cela, étudier le système compas asservi PN-101, analyser les différents signaux à chaque étage des circuits composants le système, déterminer les points à sortir sur le banc pour mettre en place des points de test et afficher sur ordinateur les allures de ces signaux.

Compte tenu de ces travaux à réaliser, le présent mémoire contient deux parties distinctes dont la première concerne le système PN-101 et l'indicateur radio magnétique, et la seconde partie est axée sur la conception de la carte d'acquisition pour l'affichage des signaux sur ordinateur.

Mais avant de développer toutes ces parties, présentons d'abord la Compagnie Air Madagascar qui fait la fierté de notre pays.

Présentation de la Compagnie Air Madagascar

Lors du retour à l'indépendance de notre pays, deux compagnies aériennes qui sont la société privée AIR MADAGASCAR (cette société est différente de l'actuelle société nationale AIR MADAGASCAR, puisqu'elle a été créée en 1947 par Roger GALLOIS) et la société « Air France Réseau Local », branche de la société nationale AIR FRANCE s'installant à Madagascar en 1945, fusionnent, regroupant ainsi équipages et avions. Le 14 Octobre 1961, la Société Nationale Malgache de Transports Aériens MADAIR a été créée. Et à la demande du président de la République Philibert TSIRANANA, la Société Nationale prendra le nom d'AIR MADAGASCAR en 1962.

A l'époque, la Compagnie desservait quelques villes de Madagascar, et en collaboration avec la Compagnie Air France, elle assurait en parallèle l'axe Antananarivo – Paris. Depuis 1970, Air Madagascar reliait le pays avec les îles voisines et quelques pays d'Afrique tels que Kenya et Afrique du Sud. En 1998, Air Madagascar ouvre la ligne Antananarivo – Singapour qui a été fermée en 2002 à cause de la crise socio-politique. En 2004, la Compagnie relie notre île avec Milan et Bangkok.

Concernant les appareils de vol dont dispose la Compagnie, des DC-3 ont été remplacés par des Twin-Otter pour les dessertes intérieures en 1971 et actuellement, la Compagnie compte 04 Twin-Otter, 02 Boeing 767-300, 02 Boeing 737-300, 02 ATR 72, 02 ATR 42 et un Piper Aztec (avion-école).

Depuis 2002, AIR MADAGASCAR collabore avec Lufthansa Consulting, titulaire d'un contrat de gestion signé avec l'Etat malgache, et de la certification de maintenance aéronautique PART-145, lui garantissant une maintenance des appareils aux normes européennes.

Le capital de la Compagnie s'élève à Ar 17.685.440.000 et les principaux actionnaires au 01 Octobre 2006 sont :

- L'Etat avec 90,60% des actions,
- SONAPAR avec 4,85%
- AIR FRANCE avec 3,17%

L'effectif du personnel est de 1.450. Les principaux dirigeants sont : Heriniaina RAZAFIMAHEFA (Président du conseil d'administration) et Ulrich LINK (Directeur Général).

Organigramme de la compagnie Air Madagascar :

**Président du Conseil d'Administration
CL-DA**

**Direction Générale
DG-DD**

**Flight Safety pilot
DG-DJ**

**Audit
DG-DQ**

**Affaires Juridiques
DG-AA**

**Sûreté et Sécurité
DG-DS**

**Chargé d'études et suivi
des projets
DG-DH**

**Chargé d'études
DG-DN**

**Assurance qualité
Maintenance
DG-QI**

**Communication
DG-DX**

**Direction Industrielle
DI-ID**

**Direction des Opérations
DE-ED**

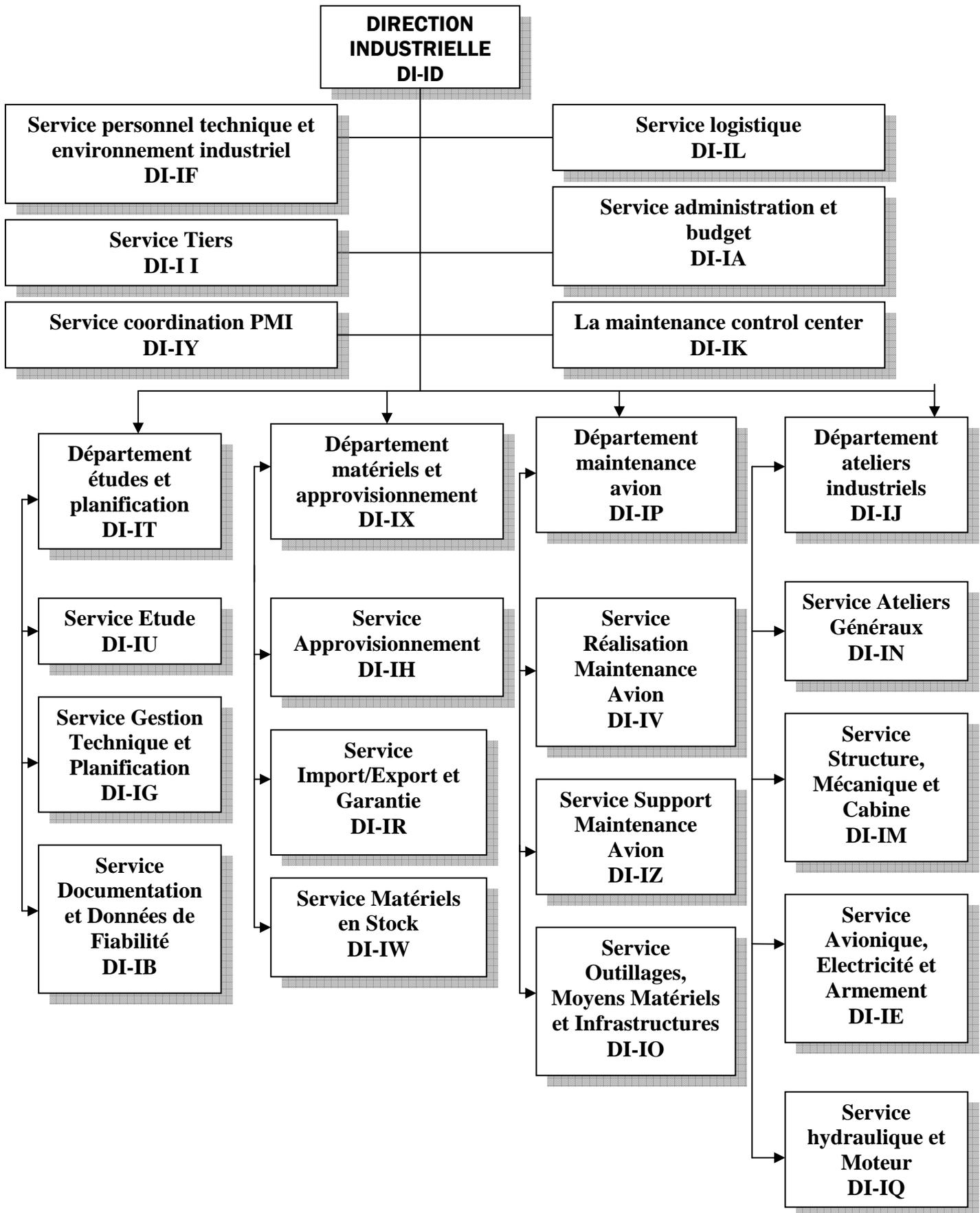
**Direction des Opérations
au sol
DT-TD**

**Direction
Financière
DF-BD**

**Direction
Commerciale
DC-CD**

**Direction des
Ressources
humaines
DP-GD**

Organigramme de la direction industrielle :



PARTIE I : LE SYSTÈME DE NAVIGATION
PN-101 ET L'INDICATEUR RADIO
MAGNÉTIQUE

Chap. Le système de navigation PN-101

1

Les instruments de bord servent à présenter au pilote toutes les informations qui lui sont utiles au maintien en vol de son avion, à sa navigation, à ses communications avec les infrastructures de la gestion des trafics aériens (stations V.O.R., stations glide,...) et lui permettent d'interagir avec son avion.

Le système de navigation PN-101 est un système dont les éléments le composant font partie des instruments de bord utilisé dans les avions de type Twin Otter et nécessaire à la conduite de ceux-ci.



a)



b)

Figure I-1- 1: Parties d'un instrument de bord

1. Rôle du système PN-101 :

Le système PN-101 fournit au pilote le cap précis de l'avion, il fournit également les informations envoyées par les émetteurs radios au sol.

2. Les éléments constituant le système PN-101 :

Le système est composé de :

- L'indicateur de route (331A-6P)
- La vanne de flux (323A-3G)
- D'un gyroscope directionnel (332E-4)
- L'amplificateur d'asservissement (328A-3G)

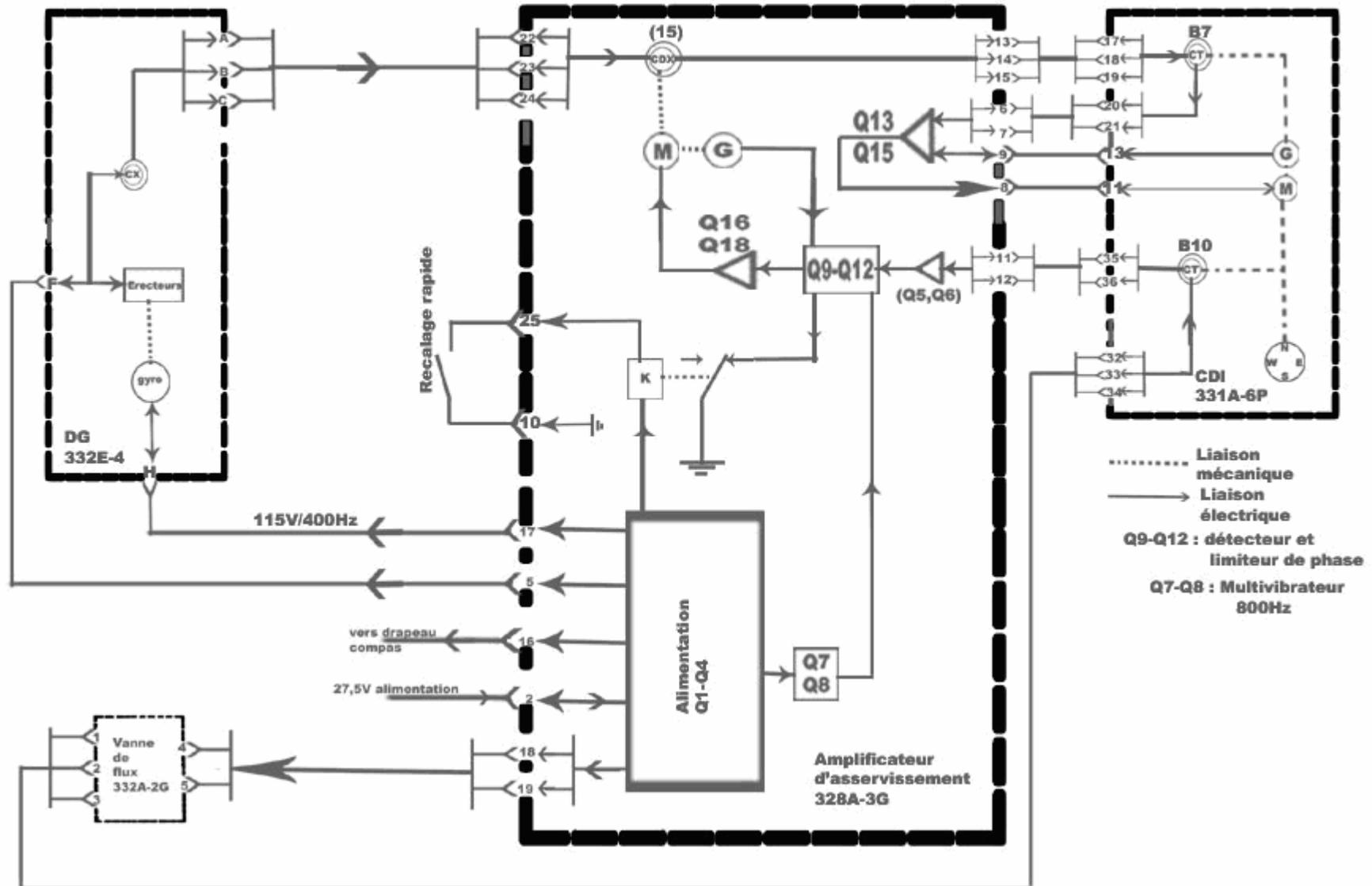


Figure I-1- 2: Le système de navigation PN-101

2.1. L'indicateur de route 331A-6P :

L'indicateur de route affiche le cap de l'avion. On peut également visualiser les informations provenant des stations de navigation. Il est composé de :

- un synchro de contrôle noté B7 ;
- un synchro comparateur noté B10 (pour le couplage avec la vanne de flux) ;
- un synchro-transmetteur noté B11 (pour les répéteurs) ;
- indicateurs et drapeaux d'avertissement ;
- dispositifs de sélection ;
- un servomoteur noté MG1¹.

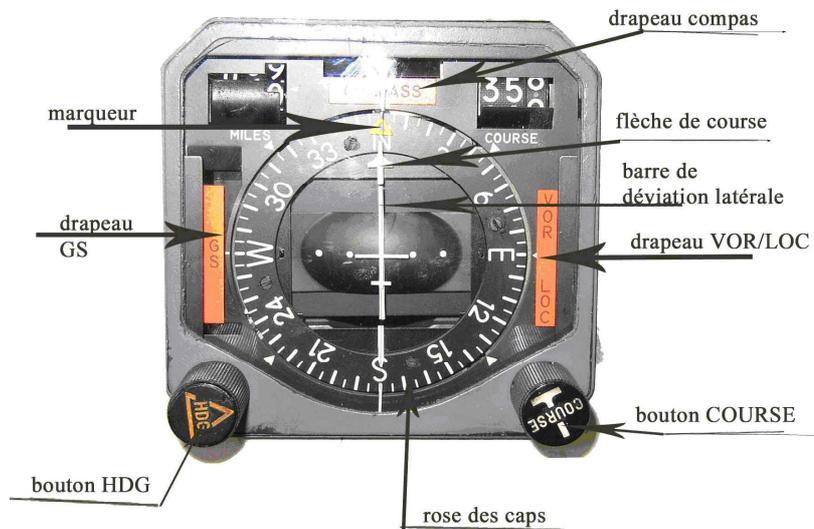


Figure I-1- 3: l'indicateur de route 331A-6P

2.1.1. Les synchros :



Figure I-1- 4: Synchro

Les synchros sont des appareils électromécaniques qui combinent le principe du moteur électrique et celui du transformateur. Le synchro est utilisé pour sa simplicité, sa robustesse, sa grande sensibilité et sa résolution pratiquement infinie. Comme le moteur, un synchro a des enroulements fixes et d'autres montés sur un rotor porté par un axe ; comme le transformateur, l'un des enroulements fonctionne comme primaire et l'autre comme secondaire. Chacun d'eux,

¹ MG : composé de Moteur et de Génératrice tachymétrique.

celui du rotor ou celui du stator, peut être utilisé comme primaire selon le type de synchro et les applications envisagées.

2.1.1.1. Le synchro-transmetteur :

Dans le synchro-transmetteur, l'enroulement rotorique joue le rôle de primaire, il est alimenté sous une tension de 26V 400Hz. Tandis que les trois enroulements statoriques, couplés en étoile jouent le rôle de secondaires. Ces trois enroulements sont disposés à 120° les uns des autres et une extrémité est connectée à un point commun qui n'est pas accessible ; cependant leurs extrémités libres sont reliées à des bornes extérieures nommées S1, S2, S3. Le symbole du synchro-transmetteur est TX ou CT. La figure suivante montre le schéma d'un synchro.

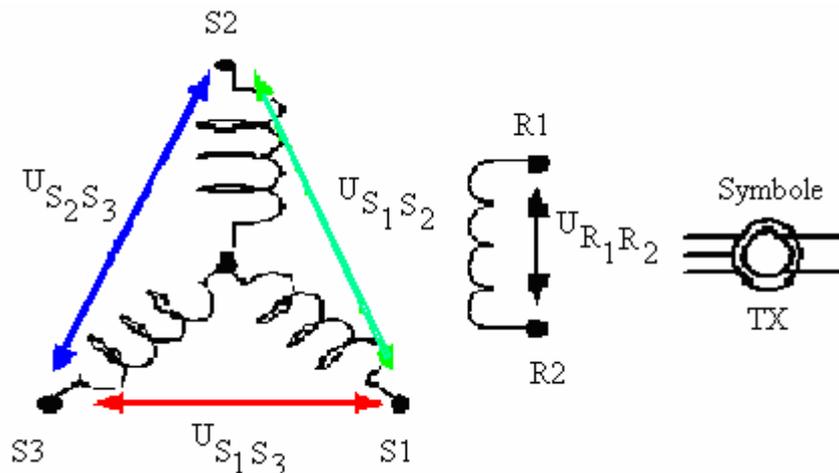


Figure I-1- 5: Schéma et symbole d'un synchro

Les fils du rotor sont également connectés à deux bornes extérieures nommées R1 et R2.

• Principe de fonctionnement :

L'enroulement rotorique reçoit la tension d'excitation et les enroulements du stator fonctionnent comme des secondaires ; la tension induite dans un secondaire dépend de l'angle sous lequel les lignes de force magnétiques coupent les spires et sera donc déterminée par la position du rotor. On peut donc considérer que le synchro-transmetteur traduit une position en tension.

Prenons comme exemple d'étude le schéma de la figure I-1-5. L'angle de rotation de l'axe est nul quand le rotor est aligné avec la bobine S_2 du stator. Le couplage du primaire avec le secondaire sera, dans cette position, maximale et la tension induite le sera également. Lorsqu'on fait tourner le rotor, le couplage avec S_2 et la tension induite décroîtront. Cette tension variera avec le cosinus de l'angle de rotation. Au-delà de 90° , le rotor recommence à tendre vers une position dans laquelle il sera de nouveau aligné avec S_2 et la tension induite recommencera à croître. À cet instant toutefois, le rotor a dépassé la position horizontale de sorte que les extrémités R_1 et R_2 ont échangé leur position. La tension induite dans S_2 est, par conséquent, en

opposition de phase avec celle induite par le rotor pour des angles inférieurs à 90°. Le tableau I-1-1 illustre la correspondance entre la position du rotor et la tension induite dans l'enroulement statorique S₂.

Angle	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
Tension S ₂	Max	0,866	0,5	0	0,5	0,866	Max
Phase	Phase	Phase	Phase	-	Opposition	Opposition	Opposition

Tableau I-1- 1: Correspondance entre position et tension induite

La variation de la tension S₁S₃ sera représentée par la figure suivante :

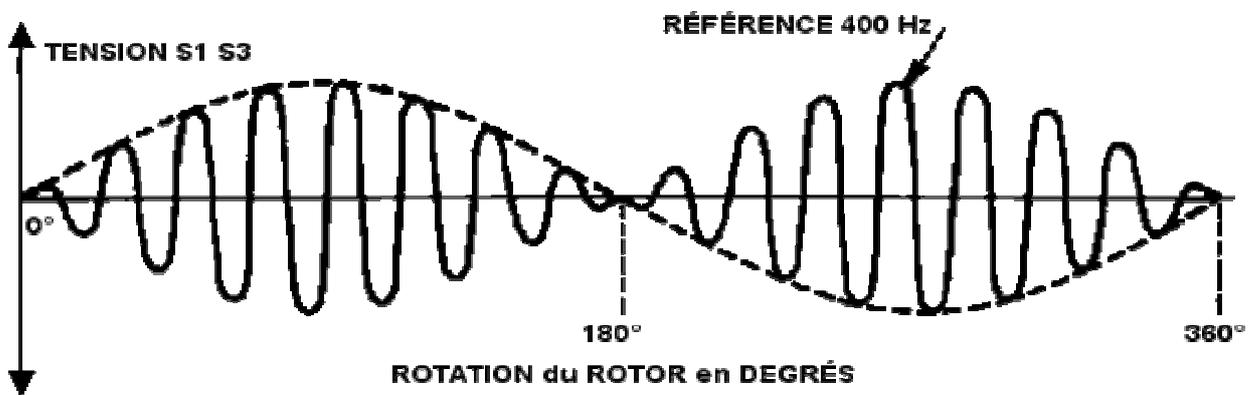


Figure I-1- 6: Représentation graphique de la variation d'amplitude de la tension S₁S₃

On peut remarquer qu'un enroulement unique est incapable de fournir sans ambiguïté la position exacte du rotor. En effet, à 0° ou à 180°, la valeur de la tension induite S₁S₃ est nulle ; à 30° ou à 330° la valeur de la tension est identique.

Comme le point neutre du couplage n'est pas accessible de l'extérieur, on utilise comme tensions de sortie les tensions de ligne : S₁S₂ ; S₁S₃ ; S₂S₃. Les valeurs de ces tensions en fonction de la rotation sont données par les formules suivantes :

$$\begin{cases} E(S_3S_1) = K.E(R_1R_2). \sin(\omega.t). \sin \Theta \\ E(S_2S_3) = K.E(R_1R_2). \sin(\omega.t). \sin(\Theta + 120^\circ) \\ E(S_1S_2) = K.E(R_1R_2). \sin(\omega.t). \sin(\Theta + 240^\circ) \end{cases} \quad (1-1)$$

Où K est le facteur de couplage entre primaire et secondaire de la fonction transformateur ; ω est la pulsation de la tension d'excitation et Θ est l'angle de rotation de l'axe du rotor en sens anti-horaire, vue du bout de l'axe, avec l'origine 0° égale au zéro électrique².

² Zéro électrique : c'est le point d'alignement de référence entre le rotor et un des enroulements du stator et pour lequel la tension induite est minimale. La position mécanique de référence est choisie comme point de référence électrique.

On obtient alors la courbe des tensions E en fonction de l'angle Θ :

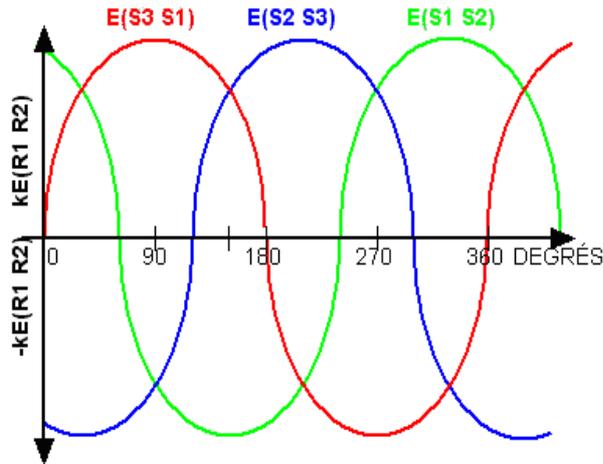


Figure I-1- 7: Courbe des 3 tensions statoriques

2.1.1.2. Le resolver :

Le resolver est un synchro composé de deux enroulements statoriques en quadrature qui donnent, par les amplitudes des tensions induites, les cosinus et sinus de l'angle de rotation du rotor. Le rotor quant à lui peut être composé d'un ou de deux enroulements (en quadrature également). Le symbole du resolver est **RX**.

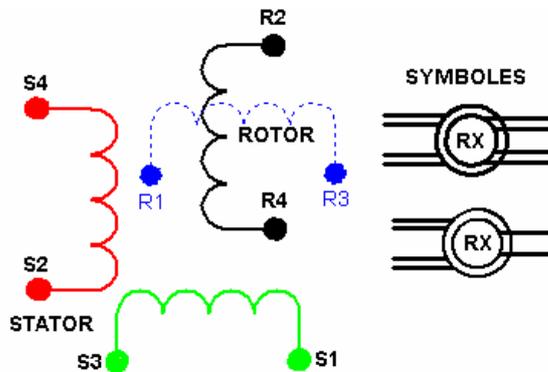


Figure I-1- 8: Schéma et symbole d'un resolver

• Utilisation du resolver :

On utilise le resolver pour le calcul trigonométrique (Computing resolver). Soit, par exemple un resolver à deux enroulements statoriques et rotoriques. La formule (1-2) donne les tensions aux bornes du stator d'un resolver avec un seul enroulement rotorique.

$$\begin{cases} E(S_2 S_4) = K.E(R_2 R_4). \sin(\omega.t). \cos(\Theta) \\ E(S_1 S_3) = K.E(R_2 R_4). \sin(\omega.t). \sin(\Theta) \end{cases} \quad (1-2)$$

K étant le facteur de couplage entre primaire ($R_2 R_4$) et les secondaires ($S_1 S_3$ et $S_2 S_4$) de la fonction transformateur ; ω étant la pulsation et Θ l'angle de rotation de l'axe du rotor.

Supposons un point en espace euclidien M (X_1, Y_1) (figure I-1-9). Effectuons une rotation de l'axe d'un angle Θ et cherchons les coordonnées du point M dans le nouveau repère $X_2 Y_2$. Elles seront :

$$\begin{cases} X_2 = X_1 \cdot \cos(\Theta) + Y_1 \cdot \sin(\Theta) \\ Y_2 = Y_1 \cdot \cos(\Theta) - X_1 \cdot \sin(\Theta) \end{cases} \quad (1-3)$$

La formule (1-3) peut être effectuée par un resolver avec un des enroulements statoriques alimenté sous une tension fonction de X_1 et l'autre sous une tension fonction de Y_1 . Lorsque le rotor tournera d'un angle Θ , les tensions présentes sur les enroulements rotoriques seront :

$$\begin{cases} V_{R1-R3} = X_1 \cdot \cos(\Theta) + Y_1 \cdot \sin(\Theta) = X_2 \\ V_{R4-R2} = Y_1 \cdot \cos(\Theta) - X_1 \cdot \sin(\Theta) = Y_2 \end{cases} \quad (1-3')$$

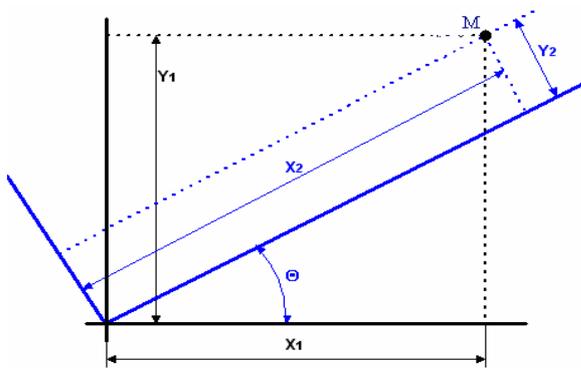


Figure I-1- 9: Rotation d'axes

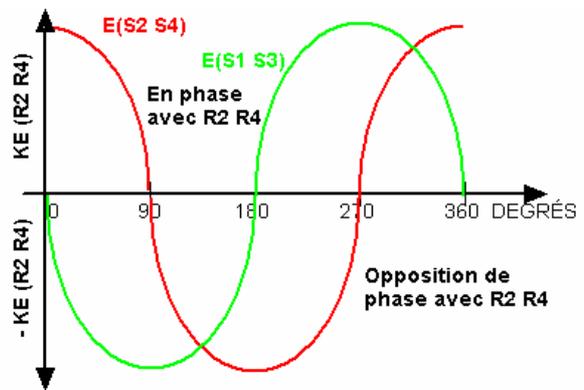


Figure I-1- 10: Courbe de tension statorique d'un resolver

2.1.2. Description de l'indicateur de route :

La rose³, apparente à l'extérieur, a une disposition frontale et permet la lecture du cap par rapport à un index fixe sur le boîtier. Suivant l'écart entre la position angulaire de la rose et la direction du champ magnétique terrestre dans la vanne de flux, le synchro comparateur fournit une tension qui sera amplifiée. Le synchro est disposé de la façon suivante :

- son stator reçoit les trois tensions secondaires de la vanne de flux ;
- son rotor est lié mécaniquement avec la rose.

Le synchro transmetteur aura, lui :

- son stator solidaire du boîtier ;
- son rotor lié grâce à des roues dentées avec la rose et excité sous une tension de 26V 400Hz.

Les drapeaux d'avertissement sont composés de :

³ La rose ou Rose des caps sur la figure I-1-3

- Drapeau compas : situé en haut de la face avant de l'indicateur, ce drapeau avertit le pilote que la rose n'est pas opérationnelle ; il apparaît également lorsque l'alimentation de l'amplificateur d'asservissement est insuffisante, ou pendant le recalage rapide.
- Drapeau VOR/LOC⁴ : situé à droite de l'instrument, il avertit le pilote sur l'insuffisance des signaux venant de la station radio.
- Drapeau GS : situé à gauche de l'instrument, il avertit le pilote que le signal venant de la station glide⁵ est insuffisant.

Les indicateurs sont composés de :

- ✓ Marqueur : de couleur orange ou jaune et de forme triangulaire, il indique le cap souhaité pour l'avion.
- ✓ Flèche de course : de couleur blanche, elle montre la course souhaitée.
- ✓ Barre de déviation latérale : initialement alignée avec la flèche de course, elle indique la déviation à droite ou à gauche de l'avion selon la course sélectionnée.
- ✓ Pointeur GS⁶ : de forme triangulaire, initialement caché par le drapeau GS, il indique la position de l'avion par rapport à une station glide, il est surtout utilisé pendant l'atterrissage.
- ✓ Pointeur TO/FROM : ce pointeur montre la direction de la station V.O.R.

2.2. La vanne de flux 323A-3G :

La vanne de flux est un boîtier semi-sphérique en forme de bol et placé dans une trappe à l'intérieure de l'aile de l'avion.



Figure I-1- 11: La vanne de flux 323A-3G

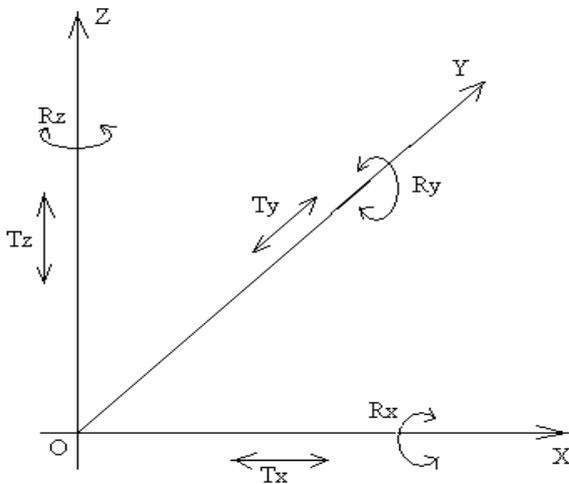
⁴ V.O.R.: Very high frequency Omni directional Range (voir annexe I)

LOC: diminutive de Localizer qui est un radiophare d'alignement de piste

⁵ Station Glide: les stations glide et LOC sont des stations radios qui émettent des signaux matérialisant deux plans de descente perpendiculaire dont le plan horizontal (gauche droite) est fourni par le Localizer et le plan vertical (bas haut) fourni par le glide. Le récepteur avion détermine les écarts de position de l'avion par rapport à ces plans et indique sur l'indicateur de route les positions de ces axes.

⁶ G.S.: Glide Slope: pente de descente: signal fournit par la station Glide à l'avion

Elle fournit la composante horizontale du champ magnétique terrestre (le cap magnétique à long terme). De plus, elle est solidaire des mouvements de l'avion autour de l'axe de lacet, mais libre en rotation dans la limite de $\pm 25^\circ$ autour des axes de roulis et tangage.



- R_x = le roulis
- R_y = le tangage
- R_z = mouvement de lacet
- OX = axe de roulis
- OY = axe de tangage
- OZ = axe de lacet
- T_x = avance ou recul
- T_y = dérive
- T_z = montée ou descente

Figure I-1- 12: Repère orthonormé

Le détecteur de champ magnétique est un circuit électromagnétique composé de :

- une jante divisée en 3 parties et séparée par 3 entrefers pour permettre une bonne canalisation des lignes d'induction du champ magnétique terrestre à l'intérieur des rayons
- rayons reliés chacun avec la jante. Ces rayons sont dédoublés et réunis par le noyau central qui porte l'enroulement d'excitation alimenté en 5V 400Hz. Chaque rayon porte l'élément secondaire du circuit, bobiné autour des 2 bras, constituant un circuit en étoile branché au stator du synchro B10.

2.3. Le gyroscope directionnel 332E-4 ou D.G. :

C'est le DG qui fournit l'information instantanée de cap indépendamment de la vanne de flux.



Figure I-1- 13: Gyroscope directionnel 332E-4

Le 332E-4 est un gyroscope directionnel dont le mécanisme de mise à l'horizontal est effectué par niveau liquide de mercure. La toupie est alimentée en 115V 400Hz pour obtenir une vitesse élevée, tandis que le moteur d'érection et le synchro-transmetteur sont alimentés en 26V 400Hz. Grâce à ses nombreuses propriétés, le gyroscope est le mieux désigné pour matérialiser

l'information de cap magnétique qu'un compas magnétique (le compas magnétique désigne est un terme employé en navigation maritime et aérienne pour désigner la boussole à la seule différence où le compas est équipé d'un repère gravé sur l'instrument et donnant la direction suivie, ce repère est appelé *ligne de foi*).

2.3.1. Les propriétés du gyroscope :

Pour un corps tournant à grande vitesse⁷ autour d'un axe de symétrie, le vecteur moment cinétique (ou moment angulaire) est dirigé suivant l'axe de rotation, dans le même sens que le vecteur rotation ω_1 et égal à :

$$K_0 = K_z = J_z \cdot \omega_1 \tag{1-4}$$

Où J_z est le moment d'inertie du gyroscope par rapport à son axe de symétrie.

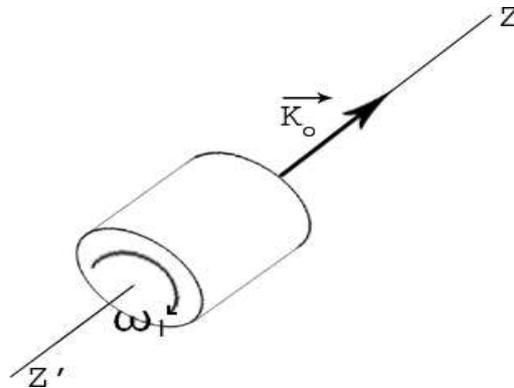


Figure I-1- 14: Gyroscope avec toupie cylindrique

a) Fixité dans l'espace :

Soit le trièdre absolu défini par 3 étoiles dont on admet les déplacements nuls.

Le théorème de la variation du moment cinétique nous donne :

$$\sum_k M_0(F_k^e) = \frac{dK_0}{dt} \tag{1-5}$$

Considérons le gyroscope suspendu de telle sorte que son centre de gravité soit immobile et confondu avec le centre de suspension de la toupie. Dans ce cas, en négligeant le frottement sur les axes de suspensions, et si aucune action extérieure n'est appliquée sur le gyroscope, on aura :

$$\sum_k M_0(F_k^e) = 0 \tag{1-5'}$$

Et donc $K_0 = \text{constante}$

F_k^e est la résultante des forces extérieures appliquées aux points matériels composant le gyroscope.

⁷ Les gyroscopes classiques sont entraînés par une pompe à vide ou un moteur électrique qui leur confère une vitesse de rotation très élevée : 10 000 [tr/min] dans le premier cas et 20 000 [tr/min] dans le second.

On obtient donc la propriété de fixité du gyroscope : **“dans le repère Galiléen, le gyroscope conserve l’orientation qui a été donnée à son axe Z’Z”**.

Par contre, dans le repère géographique, le gyroscope est animé d’un mouvement apparent de vitesse angulaire $-\omega_T$ ($\omega_T =$ vitesse angulaire de la Terre = $15^\circ 2,5'/h$).

b) **Action d’une force sur l’axe du gyroscope :**

Appliquons une force \vec{F} sur l’axe du gyroscope, le moment par rapport à O de cette force sera :

$$M_0 = F.h \tag{1-6}$$

h étant la distance perpendiculaire du point d’application de la force \vec{F} au point O.

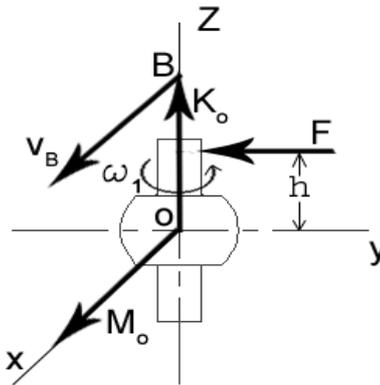


Figure I-1- 15: Gyroscope soumise à une force

D’après le théorème du moment cinétique, on obtient :

$$\frac{dK_0}{dt} = M_0 \tag{1-7}$$

Si B est le point de l’axe qui coïncide avec l’extrémité du vecteur K_0 , et en tenant compte de ce que la dérivée du vecteur \vec{OB} par rapport au temps est égale à la vitesse v_B du point B, on aura :

$$\frac{d(OB)}{dt} = M_0 \tag{1-7'}$$

Le point B, et avec lui l’axe du gyroscope, va donc se déplacer dans la direction du vecteur M_0 . D’où la propriété : **“si sur l’axe du gyroscope tournant à grande vitesse agit une force extérieure, l’axe commence à s’écarter suivant le sens du vecteur moment de cette force par rapport au point fixe O du gyroscope”**.

De plus, on aura la conclusion suivante : *lorsqu’on cesse la force extérieure, M_0 et v_B deviendront nuls et l’axe revient à sa position initiale.* Le gyroscope ne conserve donc pas le mouvement qui lui a été communiqué par la force. Par conséquent, si l’action de la force est de

courte durée, l'axe ne modifie presque pas sa direction. C'est la manifestation de la propriété de **stabilité** de l'axe d'un gyroscope tournant à grande vitesse.

Grâce à ses propriétés de fixité et de stabilité, le gyroscope est utilisé pour maintenir un cap.

c) **Mouvement de précession d'un gyroscope :**

Après déplacement de l'axe, le centre O ne coïncide pas avec le centre de gravité G. Le poids \vec{P} du gyroscope l'écartera suivant la direction du moment du poids par rapport au point O : $M_0(\vec{P})$. L'axe du gyroscope tournera autour de l'axe vertical OZ_1 en engendrant une surface conique : c'est la **précession gyroscopique**.

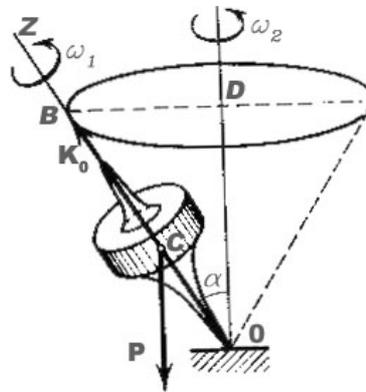


Figure I-1- 16: Mouvement de précession du gyroscope

La vitesse de la précession est ω_2 et obtenue par :

$$\vec{M}_0 = \vec{\omega}_2 \wedge \vec{K}_0, \text{ or } v_B = M_0; \text{ d'où}$$

$$\omega_2 = \frac{P \cdot a}{J_2 \cdot \omega_1} \tag{1-8}$$

Où $a = OG$

On remarque que ω_1 et ω_2 sont inversement proportionnels.

Le déplacement de l'axe du gyroscope peut être le résultat de l'action d'un couple moteur placé sur un axe du gyroscope. Les instruments gyroscopiques montés à bord d'un avion auront à subir par ailleurs, des couples de frottements induits par les mouvements relatifs toupie-avion : on aura alors des imperfections mécaniques qui vont engendrer une précession appelée **dérive propre gyroscopique**. De plus, le gyroscope est soumis à la **dérive apparente** à cause du repère géographique. Ces dérives peuvent provoquer des indications fausses du cap. Pour réduire la dérive apparente, il faut incorporer un système de mise à l'horizontale qui mesure tout écart de l'axe du gyroscope par rapport au plan horizontal et fournit un couple qui ramène

automatiquement l'axe dans ce plan. Ce système est appelé **système de mise à niveau** ou de **“leveling”**. Il varie selon les constructeurs. Tandis que la réduction de la dérive propre dépend des matériaux utilisés.

d) **Effet gyroscopique :**

Considérons un gyroscope tournant à grande vitesse et fixé à l'aide des paliers A et A' dans un anneau qui à son tour peut tourner à une certaine vitesse ω_2 ($\omega_2 \ll \omega_1$), matérialisation de la précession. A partir de la formule (1-7'), on peut conclure que l'axe est soumis à un moment M_0 introduit par le couple de force Q et Q' (figure I-1-17). Or d'après le principe de l'action et de la réaction, l'axe du gyroscope exercera une pression sur les paliers avec des forces N, N' égales en module et de direction opposée à Q et Q'.

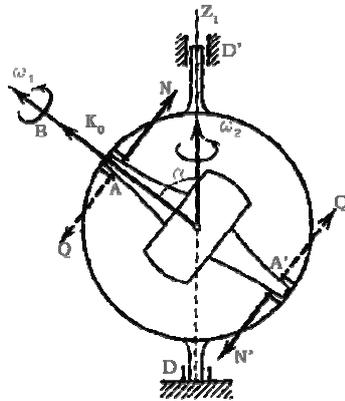


Figure I-1- 17: Effet gyroscopique

Le couple (N, N') est appelé *couple gyroscopique*, et son moment, *moment gyroscopique*

Γ_G .

$$\vec{\Gamma}_G = -\vec{M}_0 = \vec{K}_0 \wedge \vec{\omega}_2 \quad (1-9)$$

En module, on obtient :

$$\Gamma_G = J_z \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \sin\alpha \quad (1-9')$$

On obtient donc la règle de N.JOUKOVSKY qui dit : **“si l'on communique à un gyroscope tournant à grande vitesse un mouvement de précession, les paliers dans lesquels est fixé l'axe du gyroscope seront soumis à un couple de force de moment Γ_G qui tendra à amener par la voie la plus courte l'axe de rotation propre parallèlement à l'axe de la précession de manière que les supports des vecteurs $\vec{\omega}_1$ et $\vec{\omega}_2$ coïncident.**“

L'effet gyroscopique peut provoquer un mouvement du corps auquel sont liés ces paliers à condition que ce mouvement ne soit pas gêné par des liaisons constantes.

2.4. L'amplificateur d'asservissement 328A-3G :

L'amplificateur d'asservissement contient les circuits nécessaires pour combiner les informations de la vanne de flux et celles du gyroscope directionnel. Il contient également un servo-amplificateur pour le servomoteur MG1 du 331A-6P. La combinaison des informations de la vanne de flux et du gyroscope fournit un cap magnétique gyro-stabilisé.



Figure I-1- 18: Amplificateur d'asservissement

3. Fonctionnement et caractéristiques des éléments du système :

Le cap affiché par l'indicateur de route est la différence angulaire entre l'axe du rotor, indiquant toujours le nord magnétique, et le cadre extérieur, relié avec le mouvement de l'avion, du gyroscope qui fournit le cap de l'avion. Tandis que la vanne de flux fournit à l'axe du rotor l'information de nord magnétique.

Pendant le lancement du gyroscope directionnel, il se stabilise, sur un cap quelconque. Le recalage se fait alors rapidement sur le cap de la vanne de flux grâce à l'action automatique du relais K (voir figure I-1-2). Ce recalage rapide disparaît après un certain temps, la rose doit alors indiquer le cap déterminé par la vanne de flux à 2 ou 3° près.

Note: il existe deux types de recalage dont la différence se situe sur la vitesse de rotation de la rose :

- Rapide : 300°/minute
- Normal : 3°/minute

3.1. L'indicateur de route 331A-6P :

Après le décollage, le pilote sélectionne son cap désiré selon la destination du voyage, pour cela, il fait tourner le bouton marqué "HDG⁸" (figure I-1-3). La position du marqueur par rapport à la rose indique la valeur du cap sélectionné. L'avion déviara sa trajectoire selon cette

⁸ HDG: Heading = cap magnétique

valeur, grâce au pilote automatique. A l'approche d'une station radio, les récepteurs de l'avion capteront les informations sur la destination de l'appareil, aussi le pilote corrigera son cap initial en sélectionnant la course souhaitée en tournant le bouton marqué "COURSE", l'avion va encore se diriger selon cette valeur.

A l'approche de l'aéroport, la station radio va émettre des signaux indiquant la position de l'avion par rapport à celle-ci, c'est-à-dire s'il est en dessous ou en dessus ou bien en position idéale pour effectuer l'atterrissage selon la position du pointeur GS.

3.1.1. Principe technologique :

Les pins 17-18-19 reçoivent le signal venant du synchro différentiel (15) de l'amplificateur d'asservissement (voir figure I-1-2). Ce signal sera appliqué aux enroulements statoriques du synchro B7. Le courant dans le rotor de B7 sera combiné avec le signal envoyé par la génératrice tachymétrique de MG1, ils seront amplifiés et alimenteront le moteur de MG1 qui fera tourner, à la fois, la rose, le rotor des synchros B7, B10, B11 (annexe V) grâce à des trains d'engrenages.

Le marqueur entraînera le rotor du synchro B4 dont le stator recevra le signal venant du système compas. Le signal d'erreur du rotor indique la différence entre le cap vrai et le cap souhaité de l'avion. Ce signal sera envoyé dans un calculateur pour être utilisé par l'horizon artificiel et le pilote automatique. Quand le marqueur coïncide avec l'indicateur fixe, la sortie de B4 sera nulle indiquant que le cap souhaité est obtenu.

La valeur de la course souhaitée sera affichée numériquement dans les trois fenêtres situées en haut et à droite de la face de l'instrument⁹, grâce à des roues dentées. Le sélecteur COURSE entraînera également le rotor des synchros B5 et B6. Le stator de B5 recevra le signal d'excitation venant du système compas, tandis que la sortie de son rotor développera un signal d'erreur qui sera traité dans le calculateur. Quand la flèche coïncidera avec l'indicateur fixe, la sortie sera nulle.

Le synchro B6 renvoie la valeur de la course sélectionnée au récepteur de navigation de l'avion. Ce récepteur est réglé avec la station radio et développera un signal indiquant la différence entre la course souhaitée et le cap vrai de l'avion. Il sera appliqué aux bornes du moteur M1 pour faire bouger la barre de déviation latérale.

3.1.2. Caractéristique technique et spécification:

La caractéristique technique du 331A-6P est donnée par le tableau I-1-2.

⁹ Dans la figure I-1-3, ces fenêtres indiquent 350, soit 350°

Taille	100.96 dm de largeur ; 100.96 dm de hauteur ; 206.37 dm maximum de profondeur
Poids	2.4 kg maximum
<u>Température ambiante :</u>	
Pendant l'opération	-30 à +55°C
Pendant l'emmagasinage	-65 à +70°C
Humidité relative	95% à +32°C
Altitude de travail	Entre -1000 et 50000 pieds ¹⁰ (l'instrument ne subira aucun dommage pour une pression absolue de 127,00 cm de mercure)
Tolérance	± 3°

Tableau I-1- 2: Caractéristique technique et spécification du 331A-6P

Voici les caractéristiques électriques de l'instrument

Pointeur To/From.	Possède une résistance de $200 \pm 30\Omega$ à +25°C et il active pour un courant de $200 \pm 40\mu A$
Barre de déviation latérale	Résistance : $1000 \pm 30\Omega$ à une température ambiante de +25°C et $120\mu A$ minimum requis pour une déviation de graduation totale = 1.90 cm
Pointeur GS	Résistance : $1000 \pm 30\Omega$, alimenté en courant continu
Tous les synchros	Rotors alimentés à 26 V 400Hz et tous les stators ont une tension de ligne maximale =11.8V
Servomoteur	Alimenté à 26V 400Hz
Tous les drapeaux	Résistances = $1000 \pm 30\Omega$ alimenté en courant continu
Lumière	2.7V DC

Tableau I-1- 3: Signaux du 331A-6P

D'après les caractéristiques précédentes, on peut remarquer que les moteurs des : barres, pointeurs, et drapeaux de l'indicateur de route sont alimentés en courant continu. Tandis que le

¹⁰ 1 pied = 0,3048 m ; 1 mile/h = 1 nœud (kt) = 1,852 km/h

servomoteur et les synchros sont en courant alternatif. Les plugs 1J1 et 1J2 peuvent être employés pour visualiser et mesurer ces signaux.

3.2. La vanne de flux 323A-3G :

Il faut provoquer une saturation cyclique du noyau ferromagnétique pour créer une variation du champ magnétique.

Considérons un élément de la vanne de flux (bras dédoublé + noyau central) (figure I-1-19). L'induction magnétique B régnant à l'intérieur du bras de perméabilité μ et soumis à l'excitation du champ magnétique terrestre \mathcal{H} vaut :

$$B = \mu \cdot \mathcal{H} \cdot \cos \alpha \quad (1-10)$$

α étant l'angle de projection de \mathcal{H} par rapport à l'axe du bras.

On crée alors une variation de la perméabilité μ en provoquant la saturation cyclique et d'où l'apparition dans un enroulement à n spires d'une force électromotrice induite e :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -nS \frac{dB}{dt} \quad (1-11)$$

Où S est la surface des spires.

En tenant compte de la formule (1-7), on obtient :

$$e = n S \mathcal{H} \frac{d\mu}{dt} \cos \alpha \quad (1-11')$$

on peut donc en conclure que e ne sera fonction que de α (c'est-à-dire du cap magnétique de l'avion) et du champ inducteur \mathcal{H} puisque $\frac{d\mu}{dt}$ dépend des propriétés du matériau utilisé.

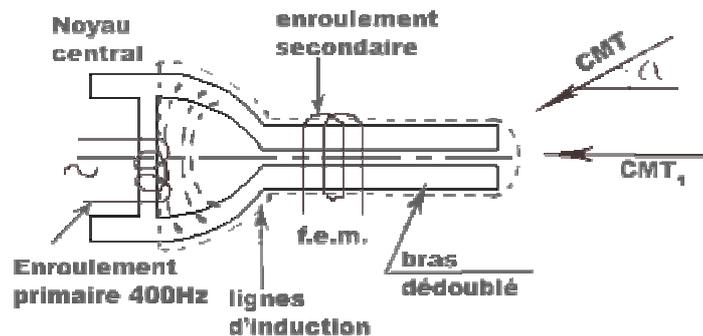


Figure I-1- 19: Ensemble bras noyau

C'est pour éviter de recueillir dans le bobinage secondaire la f.e.m. qui serait induite par les flux de fuite du primaire que le barreau est dédoublé. La tension 5V 400Hz qui crée la saturation est fournie par l'amplificateur d'asservissement.

La figure en annexe III donne l'allure de cette tension.

3.2.1. Caractéristiques techniques et spécification :

Taille	12.14 cm de diamètre et 6.82 cm de hauteur
Poids	0.68 kg
<u>Température ambiante :</u>	
Pendant l'opération	-55 à +70°C
Pendant l'emmagasinage	-65 à +70°C
Tolérance	±1.0 ° dans un champ de : $H_x = 0 \text{ Gauss}^{11}$ $H_y = 0.18 \text{ Gauss}$ $H_z = 0.54 \text{ Gauss}$
Fréquence de sortie	800Hz

Tableau I-1- 4: Caractéristiques techniques de la vanne de flux

Il est à noter que le cap de la vanne de flux est soumis à des erreurs qui peuvent être importantes mais passagères (déclinaison locale, inclinaison,...), par conséquent, le recalage du DG par la vanne de flux ne se fait que très lentement en fonction de la dérive du DG et des variations de la déclinaison à long terme (recalage normal).

3.3. Gyroscope directionnel 332E-4 :

L'axe du gyroscope, après recalage avec la vanne de flux, indique le nord magnétique. Son cadre extérieur est lié avec le mouvement de l'avion, le cap sera donc l'angle entre la ligne de foi de l'avion et le nord magnétique. L'horizontalité du cadre intérieur est mesurée par un contact placé sur l'axe de ce cadre et actionné par le liquide de mercure. Quand le cadre s'écarte de l'horizontal, le contact alimente le moteur d'érection. L'intensité du courant d'érection dépend de l'angle d'écartement du cadre.

3.3.1. Caractéristiques techniques et spécification :

Taille	8.096 cm de largeur, 16.82 cm, et 15,24 cm
Poids	2.04 kg
Tolérance	L'erreur transmise n'excède pas ± 20mn
Recalage rapide	300°/mn
Recalage normal	3°/mn

Tableau I-1- 5: Caractéristiques techniques du gyroscope directionnel¹¹ 1 Gauss = 10^{-4} T

3.4. L'amplificateur d'asservissement 328A-3G :

L'amplificateur d'asservissement reçoit les informations d'entrée venant de l'avion (source de tension), du gyroscope directionnel 332E-4, et de l'indicateur de route 331A-6P.

a. Entrée venant de l'avion :

La tension continue 27.5 V DC est fournie par l'avion, elle est appliquée au pin J1-2 de l'amplificateur d'asservissement.

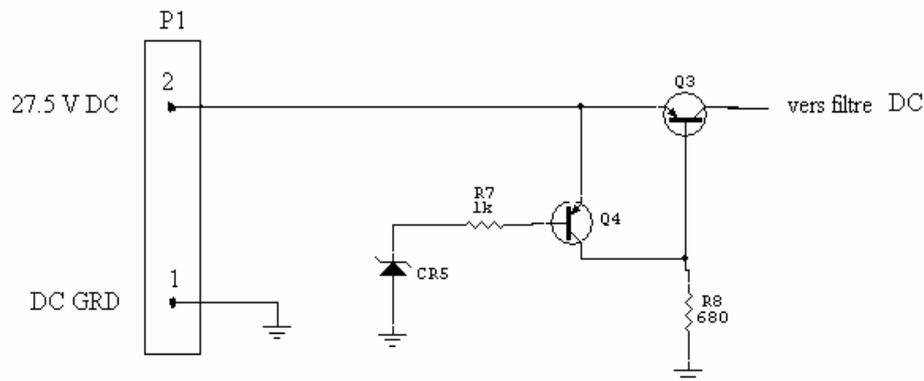


Figure I-1- 20: Circuit de protection

CR5 : 1N973A ; Q3 : 2N1547 ; Q4 : 2N398.

Le circuit de la figure I-1-20 protège l'amplificateur d'asservissement contre d'éventuelle surtension et fonctionne comme un régulateur de tension continue. Le transistor Q3 conduit lorsque la tension d'entrée est inférieure à 33 V DC, par contre si elle dépasse cette valeur, c'est le transistor Q4 qui conduit et Q3 est bloqué.

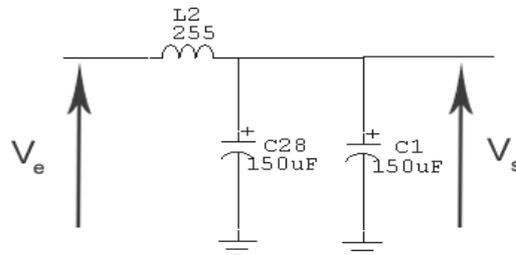


Figure I-1- 21: Filtre

L2 : 255 μ H

La tension de sortie V_s du filtre est appliquée à un onduleur autonome (figure I-1-22).

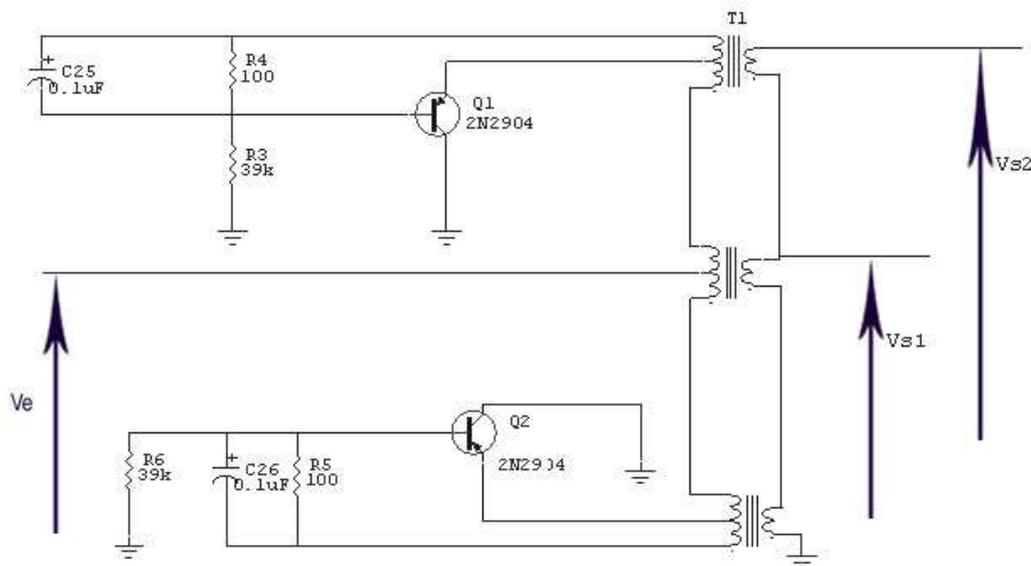


Figure I-1- 22: Onduleur autonome

La sortie V_{s1} est égale à 26 V 400Hz et la sortie $V_{s2} = 115$ V 400Hz. La tension V_{s1} est nécessaire pour alimenter le moteur d'érection du gyroscope directionnel, tandis que la tension V_{s2} est utilisée pour faire tourner la toupie du 332E-4.

La tension 26V 400Hz est de plus appliquée à un redresseur, la sortie sera -19V DC. Celle-ci est nécessaire pour les circuits d'amplification à l'intérieur du 328A-3G.

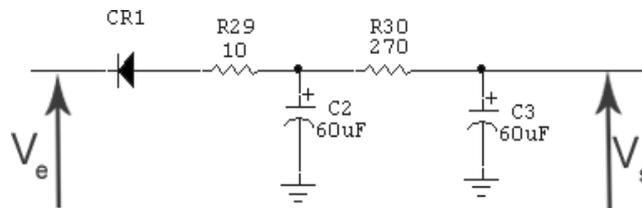


Figure I-1- 23: Ensemble redresseur et filtre

CR1 : 1N2069 ;

Tous ces circuits constituent le bloc "Alimentation Q1-Q4" de la figure I-1-2.

b. Signaux venant du gyroscope directionnel :

Les signaux de sortie du synchro-transmetteur B_1 du 332E-4 sont appliqués au stator de la différentielle CDX (15) de l'amplificateur d'asservissement. Ce synchro-différentiel positionne le synchro-récepteur B_7 de 331A-6P, un changement de cap est immédiatement affiché par la rose.

c. Entrée indicateur de route :

L'amplificateur d'asservissement reçoit l'information de cap de la vanne de flux venant de l'indicateur de route. La tension de sortie de fréquence 800Hz du synchro B_{10} du 331A-6P

est appliquée à la résistance R10 et condensateur C4 de l'amplificateur 800Hz (figure I-1-24). La tension de fréquence 800Hz est amplifiée et ensuite détectée par le bloc Q9-Q12 (détecteur et limiteur figure I-1-20). Celui-ci est contrôlé par un multivibrateur monostable 800Hz qui est synchronisé avec l'excitation du 323A-2G (figure I-1-25).

La sortie 800Hz du multivibrateur est appliquée à la base du transistor Q9 à travers la résistance R24. Après filtrage par le réseau R26, R27 et condensateur C12, la tension est convertie en une tension de fréquence 400Hz par le transistor Q10 (figure I-1-26). La tension de sortie sera amplifiée et appliquée à un servo amplificateur (figure I-1-27) qui fait tourner le servomoteur M du 328A-3G.

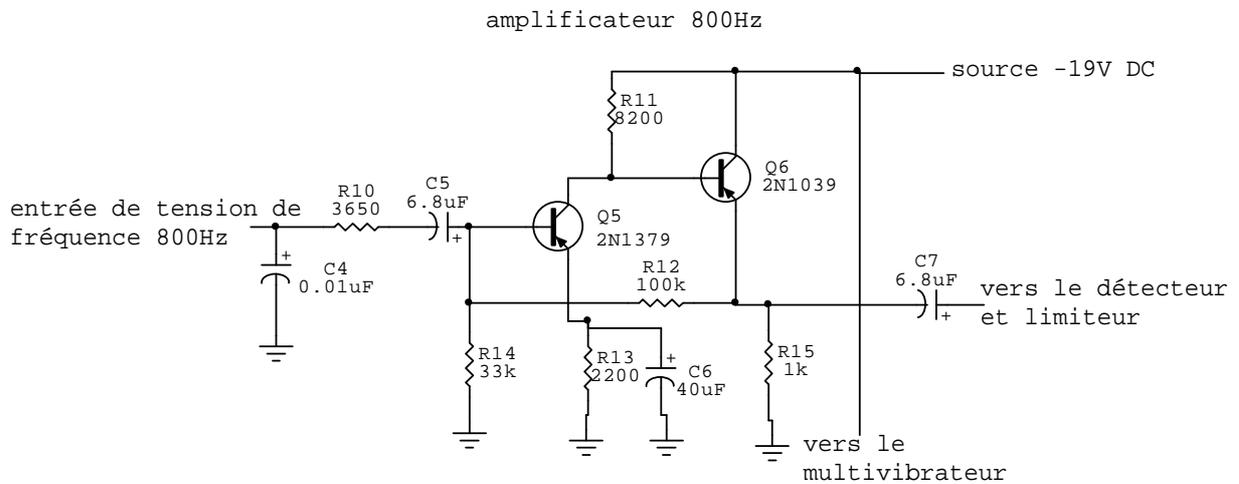


Figure I-1- 24: Amplificateur

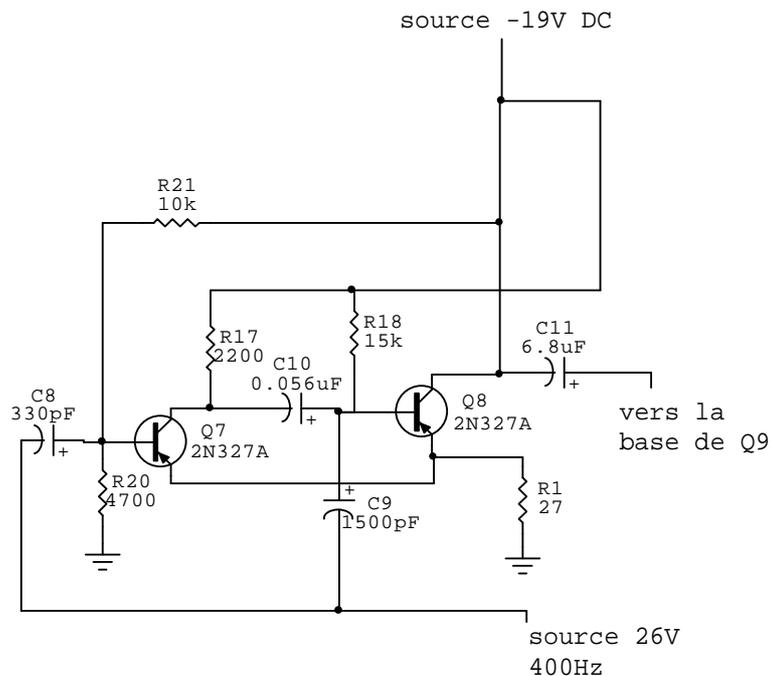


Figure I-1- 25: Multivibrateur 800Hz

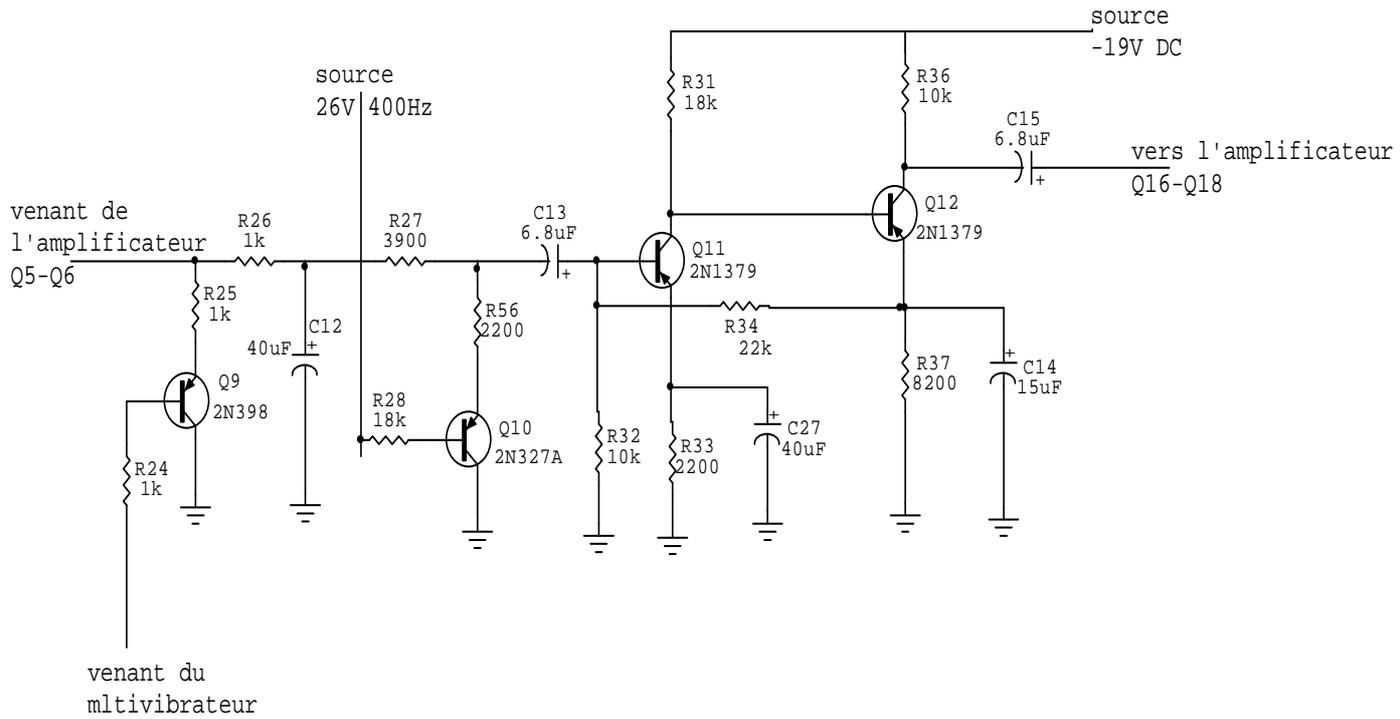


Figure I-1- 26: Détecteur et limiteur

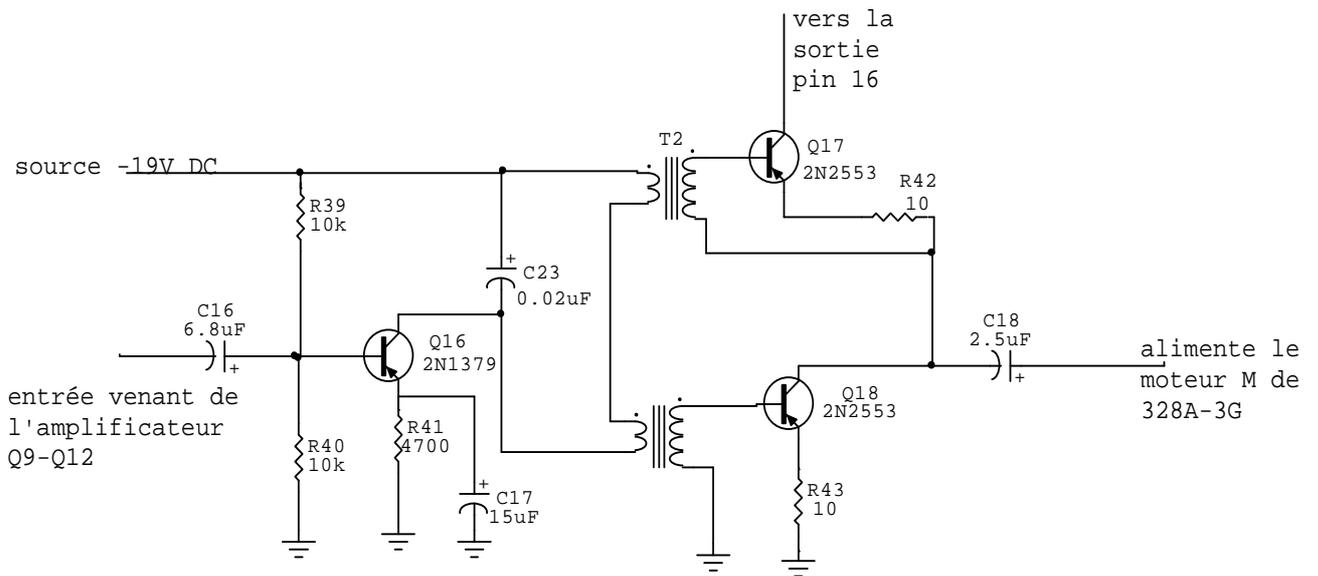


Figure I-1- 27: Servo amplificateur Q16-Q18

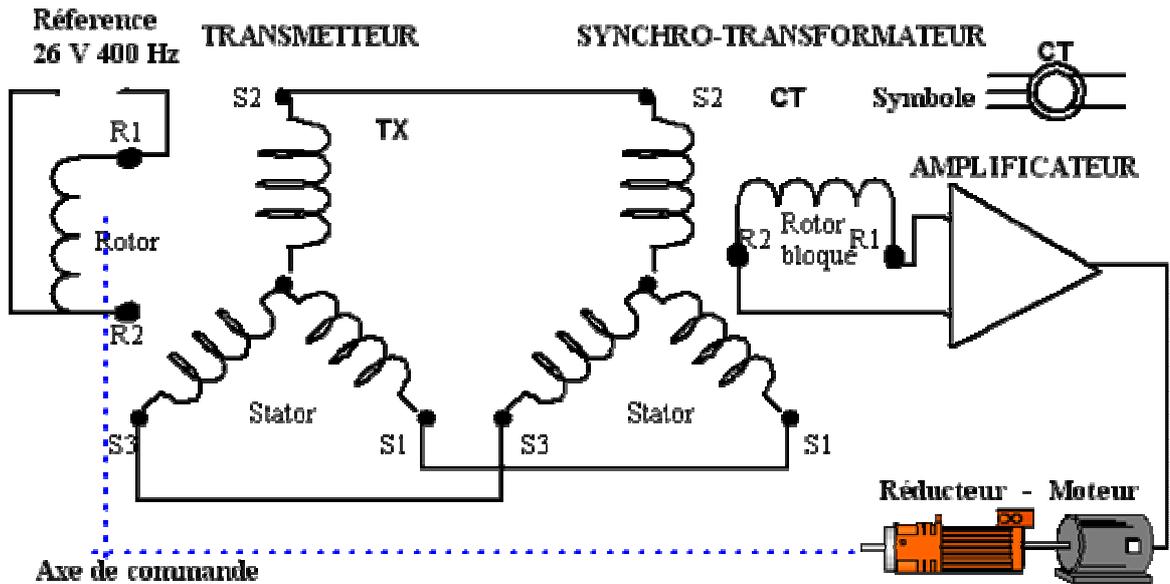


Figure I-1-30: Synchro transmetteur et récepteur

Voici les différents symboles d'un synchro-différentiel :



Figure I-1-31: Transmetteur différentiel de couple

Figure I-1-32: Récepteur différentiel de couple

On trouve également la domination suivante : CDX : transmetteur différentiel de commande

Le synchro-différentiel peut être employé de plusieurs manières, mais ce qui nous intéresse est le montage *ensemble transmetteur-différentiel-récepteur* puisqu'on le rencontre dans l'amplificateur d'asservissement.

Le principe est le suivant : les tensions induites dans le rotor du synchro-différentiel constituent une représentation électrique de la différence angulaire entre les axes du transmetteur et du différentiel ; ces tensions seront appliquées aux bornes du stator du synchro-récepteur et provoquant une rotation de son axe d'un angle : $160^\circ (TX) - 55^\circ (TDX) = 105^\circ$, si on prend le cas de la figure I-1-33.

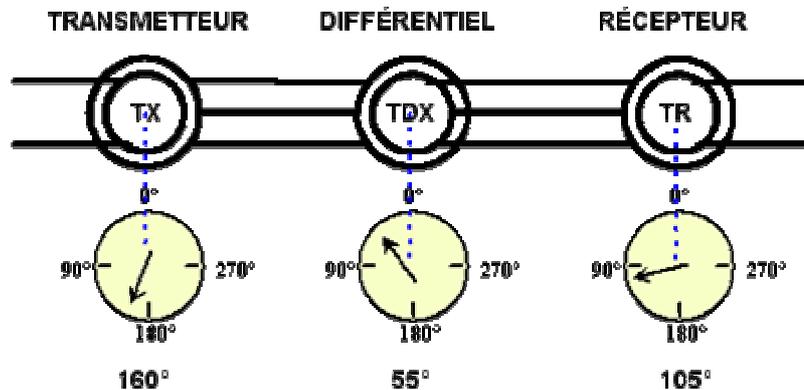


Figure I-1-33: Ensemble transmetteur-différentiel-récepteur

4. Politique d'entretien du système PN-101 :

La politique d'entretien du système PN-101 est la maintenance corrective. Les éléments du système ne passent sur banc d'essai qu'en cas de pannes. Les tâches à effectuer sur le banc sont décrites dans le prochain chapitre. Après le dépannage des éléments du système PN-101, avant qu'ils reprennent service, on doit fournir un certificat d'Approbation Pour Remise en Service (APRS) pour s'assurer que tout l'entretien exigé a été effectué correctement, selon la norme européenne sur la maintenance des aéronefs et ses éléments PART 145, faisant référence sur l'attestation des travaux d'entretien : PART 145.50.

5. Amélioration du système PN-101 :

Les constructeurs des instruments de bord envoient aux exploitants des améliorations au niveau des circuits des éléments du système PN-101 suivant leurs études et des demandes des clients. Ces améliorations sont appelées *Bulletin Service* (ou SB). Une plaque numérotée se trouvant à l'arrière de chaque instrument indique le niveau d'amélioration apportée à celui-ci.

Ex : SB-2 ; SB-3 ; SB-4.

6. Application des systèmes asservis sur le système de navigation :

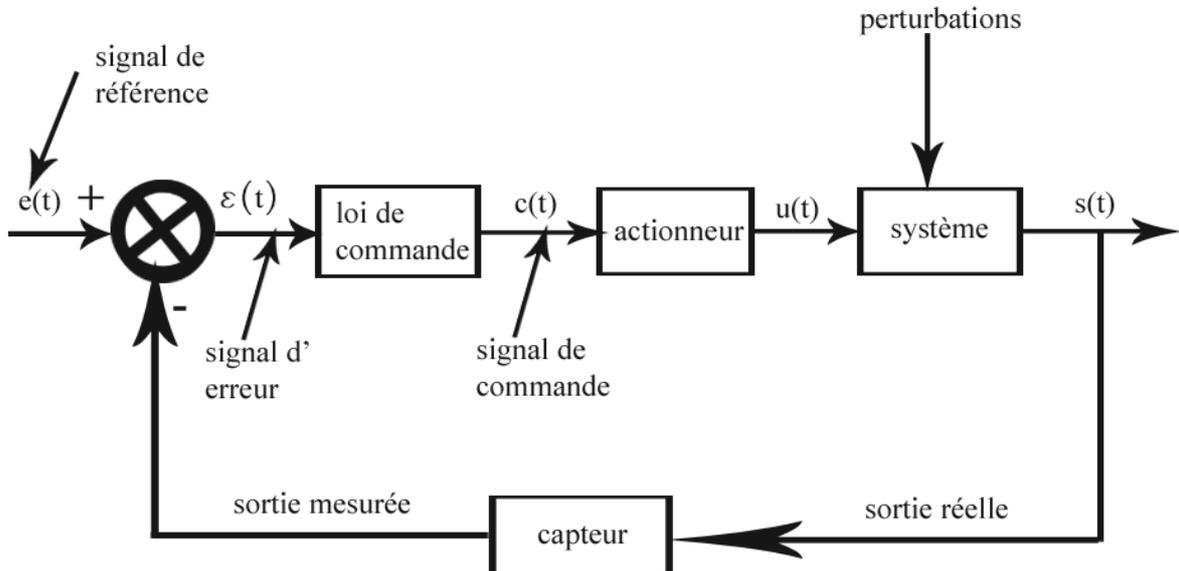


Figure I-1- 34: Commande en boucle fermée

Les systèmes asservis sont composés de 2 chaînes :

- Une chaîne principale : cette chaîne comporte le comparateur et la commande en plus des grandeurs d'entrée et de sortie. Elle comportera également une amplification de puissance puisque la commande travaille à niveau d'énergie élevée or le signal d'écart ε est à faible niveau d'énergie.

- Une chaîne de retour : dirigée de la sortie vers l'entrée. Elle est destinée à transmettre avec précision les informations obtenues à la sortie. Un système bouclé vérifie en quelque sorte que la réponse du système correspond à l'entrée de référence. Cette structure de commande permet ainsi d'améliorer les performances dynamiques du système commandé (rapidité, rejet de perturbation, meilleur suivi de consignes, stabilisation de systèmes instables en boucle ouverte).

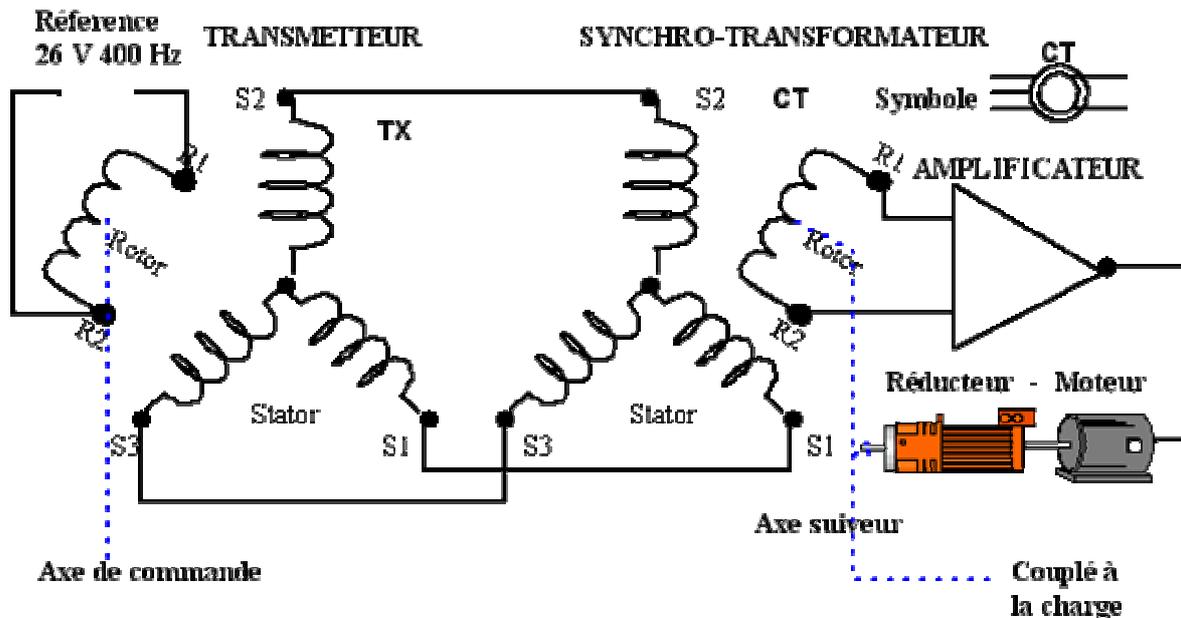


Figure I-1- 35: Transmission électrique avec amplification

Sur la figure I-1-35, on a un exemple de système asservi qu'on peut retrouver dans les instruments de bord d'un avion : c'est le principe de transmission électrique à distance. En effet, il faut visualiser le fonctionnement de certains organes pour mieux diriger l'appareil. Le transmetteur **TX** transforme la grandeur à mesurer (pression, température, vitesse, position,...) en grandeur électrique ; tandis que le récepteur **CT** transforme celle-ci en indication lisible sur un cadran. La tension induite sur le rotor du récepteur constitue le signal d'erreur ε . Sa valeur est fonction du décalage angulaire entre le champ d'induction H_R et la position du rotor.

6.1. Performances recherchées pour un asservissement :

De manière générale, on demande au système asservi d'être caractérisé en régime permanent de la manière suivante :

- Pas d'erreur de position (réponse à un échelon) ;
- Erreur de traînage faible ou nulle (réponse à une rampe) ;
- Déphasage¹² (ψ) et gain statique ne dépassant pas certaines valeurs pour une bande de fréquence donnée (réponse harmonique) ;

¹² Ψ = déphasage du signal de sortie sur l'entrée

- d. Une marge de robustesse moyenne ;
- e. Un temps de réponse rapide.

6.2. Systemes asservis ayant un correcteur :

On peut dire qu'un asservissement est **stable** si, quelles que soit les conditions initiales et le signal d'entrée, le signal de sortie ne tend pas vers une oscillation permanente d'amplitude et de période constante ou croissante. L'instabilité peut être due à un temps de retard important du système, c'est-à-dire, une valeur non nulle de l'écart ϵ et ne tendant pas vers 0 pendant la correction.

Pour améliorer le fonctionnement du système, on est amené à utiliser des correcteurs. Deux procédés sont généralement utilisés :

- Action dérivée : on distingue la compensation par action dérivée et celle par signal dérivé
- Action intégrale

6.2.1. Action dérivée :

Avec cette action, on augmente l'amortissement sans modifier la précision. Plusieurs solutions sont envisageables.

a) Compensation par action dérivée :

On modifie le comportement du système au voisinage de la pulsation critique. La chaîne directe est alors commandée par un signal qui est la combinaison linéaire de l'écart ϵ et de sa tendance $\frac{d\epsilon}{dt}$. Le réseau correcteur va donc élaborer le signal $\epsilon + \lambda \cdot \frac{d\epsilon}{dt}$ ¹³. On peut distinguer :

Soit le réseau proportionnel dérivée (P.D.) dont la fonction de transfert est :

$$C(p) = 1 + \tau.p \tag{1-12}$$

Soit le réseau à avance de phase dont la fonction de transfert est :

$$C(p) = \frac{1 + \tau.p}{1 + a.\tau.p} \quad (a < 1) \tag{1-13}$$

Quelle que soit la solution adoptée, le schéma synoptique est le suivant :

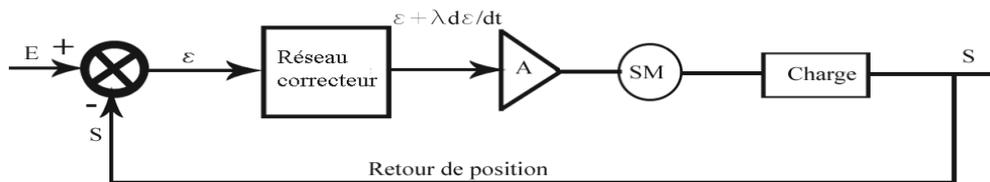
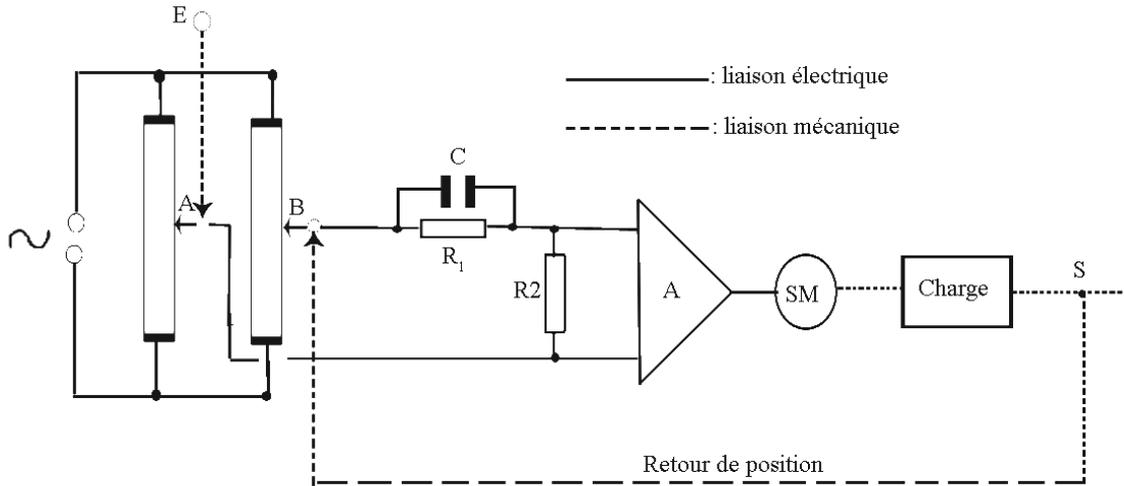


Figure I-1- 36: Compensation par action dérivée

¹³ λ est un coefficient de proportionnalité

Le réseau correcteur dérivateur peut être réalisé par un réseau passif composé de résistances et de condensateur en commandant un servo potentiomètre de la manière suivante :



A : curseur du potentiomètre d'affichage de la valeur E;
 B : curseur du potentiomètre d'affichage de la valeur S.

Figure I-1- 37: Système avec réseau correcteur dérivateur

Une erreur de position se traduit par un positionnement différent des curseurs A et B donc des potentiels V_A et V_B ;

La différence de potentiel $V_A - V_B$ alimente l'amplificateur à travers le réseau RC et fait tourner le servomoteur jusqu'à ce que $\varepsilon = 0$.

b) Compensation par signal dérivé :

Avec cette solution, on utilise une génératrice tachymétrique qui fournit à chaque instant un signal proportionnel à $\frac{dS}{dt}$. Pour une entrée E constante, on aura :

$$\lambda \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} = \lambda \cdot \frac{d(E - S)}{dt} = -\lambda \cdot \frac{dS}{dt} \tag{1-14}$$

Le schéma synoptique est le suivant :

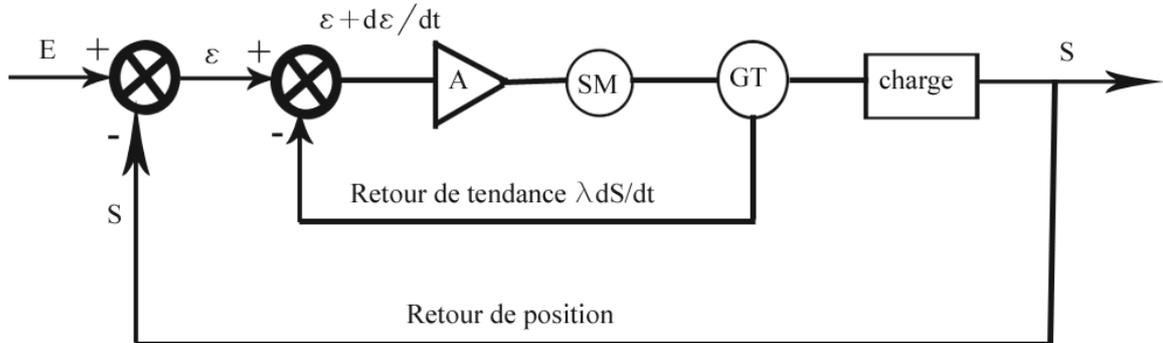


Figure I-1- 38: Compensation par signal dérivé

L'action correctrice sera d'autant plus importante que $|\varepsilon|$ sera grand.

Dans le cas où ε est positif :

ε et $\frac{d\varepsilon}{dt}$ sont de même de signe, si $|\varepsilon|$ augmentera (le terme $\frac{d\varepsilon}{dt}$ renforce la correction) tandis que

si $|\varepsilon|$ diminuera le terme $\frac{d\varepsilon}{dt}$ s'oppose à ε qui est en train de décroître et on rejoint sans osciller

la situation $S = E$.

C'est cette dernière technique qu'on emploie sur le système PN-101. L'information de cap magnétique référence est donnée par le gyroscope, lui-même est asservi avec comme signal de référence celui fourni par la vanne de flux.

6.2.2. Action intégrale :

Le but est d'augmenter la précision sans modifier le degré de stabilité. On va substituer

au signal d'écart la combinaison linéaire $\varepsilon + \lambda \int_0^t \varepsilon dt$ qui fait intervenir le facteur temps. D'où

pour ε , aussi faible soit-il, la chaîne directe commandera une action correctrice ; à la limite, si ε

est trop faible pour définir une correction, l'ajout du terme $\lambda \int_0^t \varepsilon dt$ oblige la chaîne à réagir pour

réaliser $\varepsilon \rightarrow 0$.

Le correcteur a comme fonction de transfert :

$$C(p) = \frac{1 + \tau.p}{\tau.p} \quad (1-15)$$

Notons que, pour améliorer la précision et en même temps la stabilité, on combine l'action intégrale et dérivée pour obtenir un correcteur P.I.D.

6.2.3. Compensation des asservissements de vitesse :

Dans ce cas, le servomécanisme doit assurer la condition $E - \frac{dS}{dt} = \varepsilon \rightarrow 0$.

Le schéma synoptique d'un tel asservissement est :

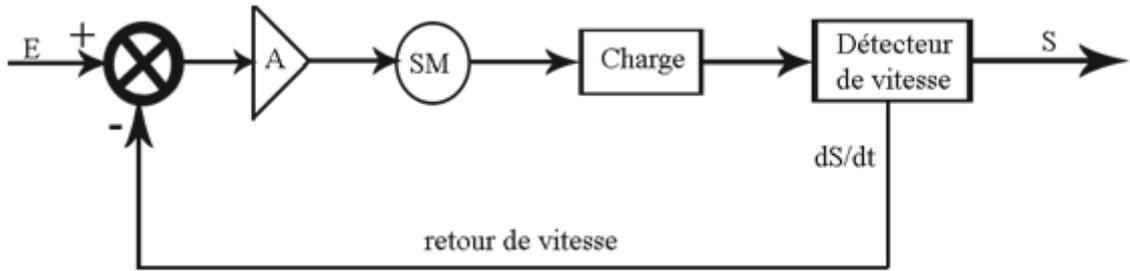


Figure I-1- 39: Asservissement de vitesse

Le détecteur de vitesse peut être une génératrice tachymétrique.

On peut retrouver ce genre d’asservissement dans le pilote automatique d’un avion pour le braquage des gouvernes.

Le pilote automatique :

On utilise un calculateur qui traite les signaux : écart de route magnétique ($R_C - R$), cap magnétique instantané¹⁴ (ψ), l’inclinaison avion (Φ) et la vitesse angulaire de roulis ($\frac{d\Phi}{dt}$), pour amener un avion sur un radial choisi R_C . Ce calculateur est appelé "Steering computer"

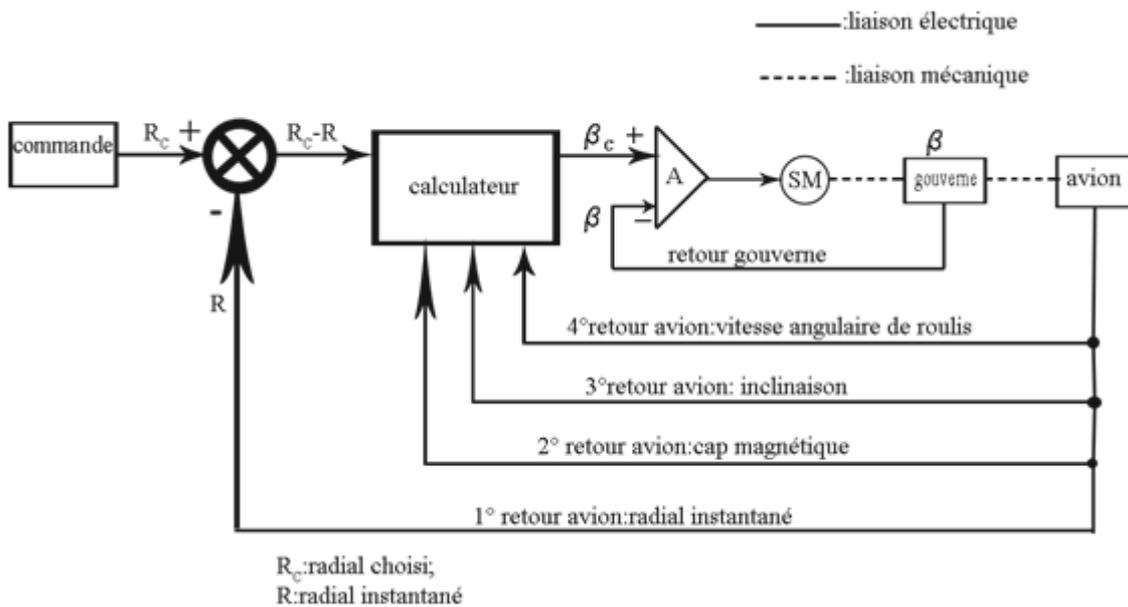


Figure I-1- 40: Schéma synoptique d'un pilote automatique

Une autre application des asservissements est indiquée en annexe II : il s’agit de l’horizon artificiel qui utilise un gyroscope vertical.



¹⁴ Le cap magnétique instantané de l’avion est obtenu à partir de la comparaison entre l’information des stations et le cap désiré. Tandis que le cap vrai de l’avion est le cap obtenu à partir du Nord Magnétique (voir annexe I)

Chap.
2

L'indicateur radio magnétique (Ou R.M.I.)

A part le système PN-101, l'indicateur radio magnétique peut aussi être testé sur le même banc d'essai.

1. Rôle de l'indicateur radio magnétique 332C-4 :

L'indicateur radio magnétique (ou R.M.I.) est un indicateur combiné permettant simultanément la lecture du cap magnétique et de la direction des stations émettrices (A.D.F¹⁵, V.O.R.).

L'information de cap est présentée sur la rose de compas, tandis que la direction des stations peut être obtenue en sélectionnant une station V.O.R. ou A.D.F. et présentée par 2 pointeurs indépendants (simple ou double barre).

2. Description de l'indicateur radio magnétique 332C-4 :

L'indicateur comprend un cadran mobile et 2 aiguilles (simple barre et double barres). Chaque aiguille est entraînée par le rotor d'un synchro et répète le gisement¹⁶ d'une station radio. Le cadran ou rose, quant à lui, est entraîné par un servomoteur. Le cap est fourni par un gyroscope directionnel.

Un synchro-transmetteur recevant la position électrique du cadre extérieur du gyroscope directionnel est raccordé au stator d'un synchro-récepteur placé dans l'appareil. Le rotor du synchro-récepteur est calé sur l'axe de la rose de telle sorte qu'aucune tension ne soit présente à ses bornes lorsque le cadran et le cadre sont dans la même position. Le rotor et la rose sont entraînés par un moteur biphasé.

Le rotor du récepteur est relié à un amplificateur alimentant un des enroulements du moteur, l'autre étant alimenté en permanence (26V 400Hz).

¹⁵ A.D.F. : Automatic Direction Finder (chercheur automatique de direction) : signaux, de fréquence comprise entre 190KHz et 1749,5 KHz, envoyés par un émetteur au sol qui, une fois présentés au pilote par l'aiguille du R.M.I., indiquent la direction de cette station.

¹⁶ Gisement : c'est l'information d'angle fournie par une station émettrice. (voir annexe I)

3. **Principe de fonctionnement :**

3.1. Le synchro-récepteur :

Le synchro-récepteur, noté **TR**, est un traducteur de tension en position. Il possède des enroulements statoriques excités par une tension qui crée un champ magnétique et un rotor tournant jusqu'à ce qu'il soit lui-même équilibré dans le champ magnétique du stator. La direction et l'intensité des champs magnétiques et l'angle de rotation du rotor dépendent de la tension appliquée au stator. On peut donc considérer que le synchro-récepteur traduit une tension en position.

3.2. Fonction Cap :

Lors d'un changement de cap de l'avion, le support du gyroscope tourne autour du cadre extérieur. Il en résulte une tension dans le stator du synchro-récepteur B3 et une autre est récoltée aux bornes du rotor. Cette dernière est en phase ou en opposition de phase avec la tension du réseau, suivant le sens de l'écart. Le signal est amplifié et alimente le servomoteur qui tourne entraînant le cadran et le rotor du synchro-récepteur. La tension récoltée diminue progressivement et lorsqu'elle s'annule, le cadran s'arrête après avoir tourné du même angle que l'avion.

La tension de sortie de la génératrice tachymétrique est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur et ajoutée à la tension d'entrée de l'amplificateur mais en opposition de phase. La génératrice tachymétrique assure au moteur un fort couple de démarrage tout en le freinant quand le signal d'erreur s'annule. En effet, au démarrage, la tension de la génératrice tachymétrique étant nulle, ne s'oppose pas à la tension d'entrée : le moteur démarre sous sa tension maximale. Par contre, lorsque la tension d'erreur est presque nulle, le moteur est alimenté par la tension de la génératrice tachymétrique, ce qui provoque son freinage.

3.3. Fonction Course :

L'indicateur radio magnétique reçoit l'information de course venant des installations V.O.R. et A.D.F. Cette information est appliquée à 2 synchro-récepteurs, B1 ou B2. Le rotor de chaque synchro est mécaniquement couplé à une aiguille qui indique le gisement de la station. Deux boutons sélectionnent l'aiguille indiquant l'information souhaitée.

4. **Caractéristiques techniques :**

4.1. Electriques :

Source : 26V 400Hz

Lumière : 5V ou 28V

Précision : 1° maximal d'erreur d'indication

4.2. Environnement :

Poids : 1,05 Kg

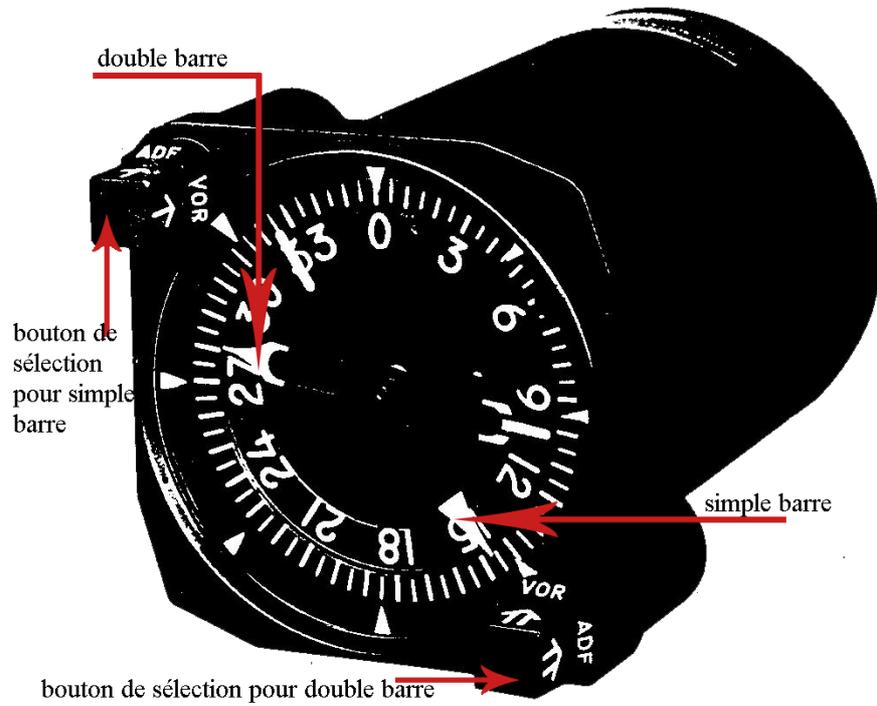


Figure I-2- 1: L'indicateur radio magnétique 332C-4

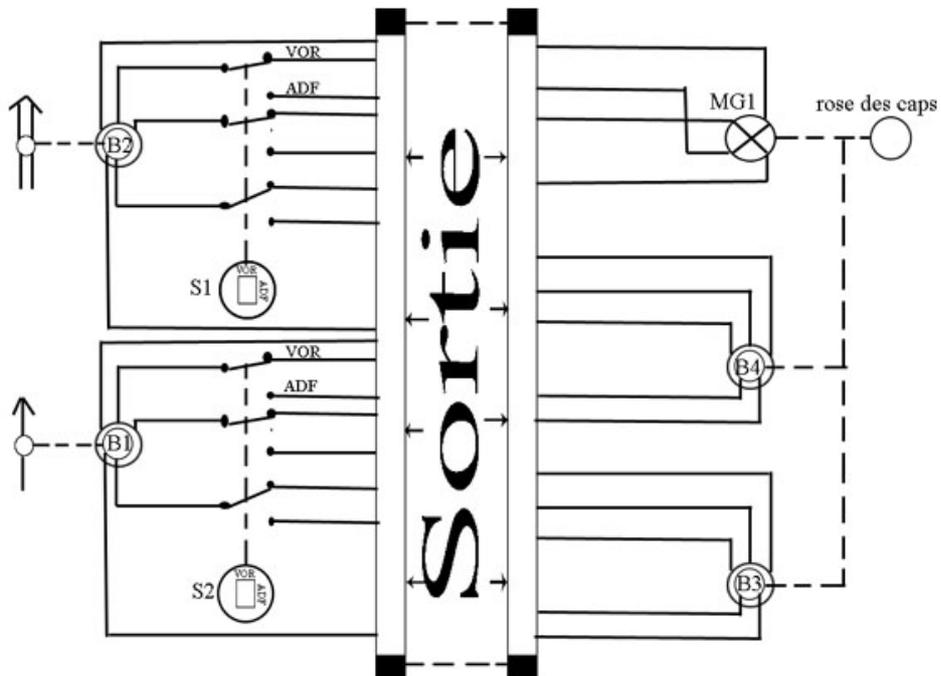


Figure I-2- 2: Diagramme schématique d'un R.M.I.

Chap. 3 Description et Mise en Œuvre du Banc d'Essai

1. Rôle du banc :

Le banc permet de vérifier le fonctionnement des composants du système PN-101 :331A-6P ; 328A-3G ; 332E-4 ; 323A-2G, et de l'indicateur radio magnétique 332C-4. En plus du système d'interconnexion entre les composants, le banc simule les signaux délivrés par les récepteurs de navigation et la référence de cap. Le banc a été fabriqué par la société COLLINS AVIONICS vers l'année 1971.

Le synchro B1 du banc simule la référence de cap, tandis que les potentiomètres R12 et R5 simulent les informations des stations émettrices. Pour le 332C-4, le synchro B2 simule les informations des aiguilles.

2. Description du banc :

Le banc est présenté sous un panneau de 48,26 cm de largeur et de profondeur de 35,56 cm et de hauteur de 60,13 cm (figure I-3-1). Il est alimenté sous une tension de 28 V DC 4A et tension de 115 V 400Hz 1A.

Les appareils de mesure utilisés pendant les tests sont : un voltmètre AC et DC ; un oscilloscope

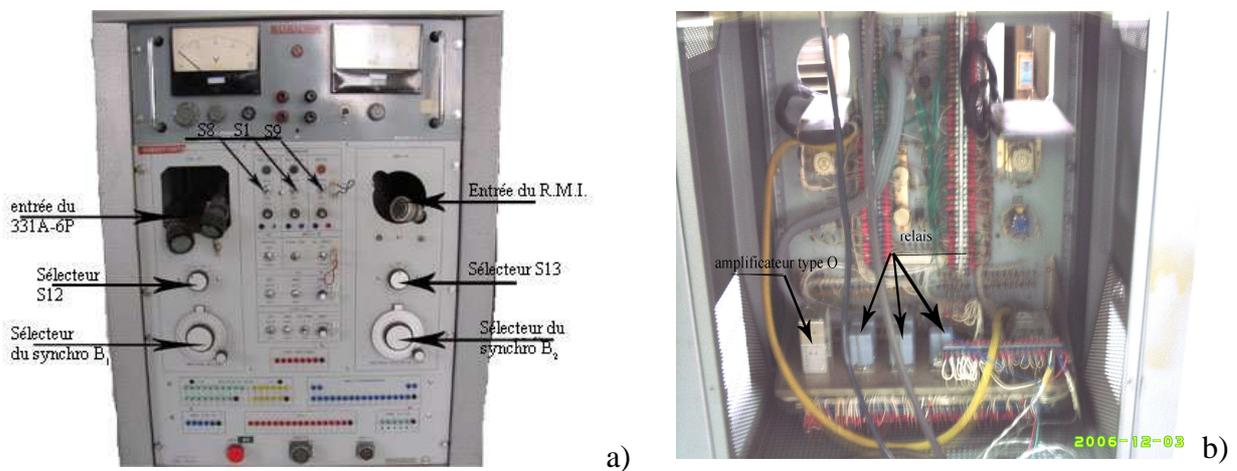


Figure I-3- 1: Le banc d'essai du système PN-101 [a) = face et b) = arrière]

On peut voir en annexe VI les autres interrupteurs et sélecteurs.

3. **Combinaisons d'essai :**

On peut vérifier sur le banc le fonctionnement de :

- ☞ L'indicateur de route seul
- ☞ Gyroscope directionnel seul
- ☞ L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement
- ☞ L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement et la vanne de flux
- ☞ L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement et le gyroscope

directionnel

☞ L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement, le gyroscope directionnel et la vanne de flux

- ☞ L'indicateur radio magnétique

3.1. L'indicateur de route seul :

On peut vérifier le fonctionnement des drapeaux, de la rose, du pointeur To/From, ainsi que des pointeurs GS et VOR/LOC.

3.2. Le gyroscope directionnel seul :

Vérification du fonctionnement du gyroscope directionnel : mesurer la tension d'alimentation, la consommation.

3.3. L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement :

Vérification du fonctionnement de la rose des caps.

3.4. L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement et la vanne de flux :

Vérification de la chaîne.

3.5. L'indicateur de route avec l'amplificateur d'asservissement et le gyroscope directionnel :

Vérification de la chaîne.

3.6. L'ensemble système PN-101 :

Vérification de la chaîne.

3.7. L'indicateur radio magnétique :

Vérification des aiguilles et rose de l'indicateur radio magnétique.

4. Séquences de test et les points de test :

Pour chaque séquence de test, des points, se trouvant sur la face avant du banc, sont utilisés pour vérifier le fonctionnement de l'ensemble à tester. En effet, ces points font ressortir les signaux de sortie à chaque étage du circuit. Le tableau I-3-1 fournit les différents signaux à vérifier correspondant à chaque séquence de test et la figure I-1-2 comme référence pour les interconnexions des points de tests.

4.1. L'indicateur de route est testé seul :

★ Test du drapeau compas :

On applique la tension 28V DC sur le banc en fermant l'interrupteur S_9 . Le simulateur S_{12} est positionné sur "arrêt", le sélecteur S_3 sur "simulé", le simulateur S_{13} sur "arrêt". On positionne l'interrupteur S_5 sur "from" et S_{10} sur "normal". Les interrupteurs S_6, S_7, S_4, S_2 sont ouverts.

On obtient le schéma suivant :

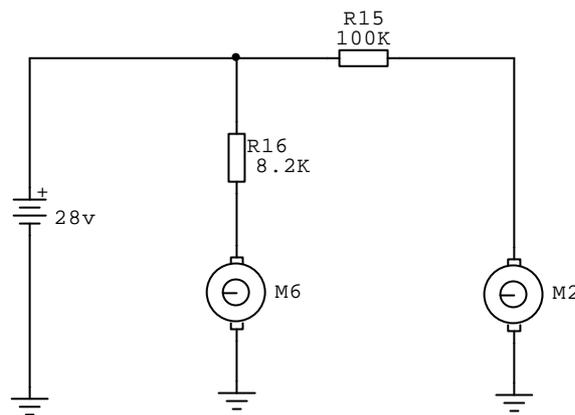


Figure I-3- 2: test du drapeau compas

Le moteur M_6 commande l'apparition du drapeau compas, tandis que M_2 fait apparaître le pointeur *To-From* : dans ce test il est positionné sur "To".

Résultat du test : le drapeau compas doit être effacé.

On devra vérifier les signaux sortant aux points :

- **1J1-30** : à ce point sort la valeur de tension appliquée aux bornes du moteur M_6 .

La masse est le point de couleur noir qu'on peut voir sur la figure II-1-1.

- **1J1-26/27** : dont 1J1-27 est la masse, en ces deux points sort la valeur de la tension appliquée aux du moteur M_2 .

★ **Test du drapeau NAV¹⁷.**

On garde la tension 28V DC et on ferme l'interrupteur S₇ et le sélecteur est positionné sur *normal* ; les autres manipulations restent identiques qu'au précédent.

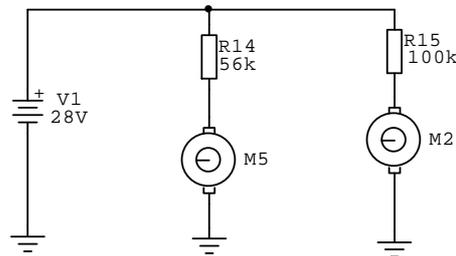


Figure I-3- 3 : Test du drapeau NAV.

Le moteur M5 commande l'apparition du drapeau NAV.

Résultat du test : le drapeau V.O.R./LOC doit être effacé.

On devra vérifier les signaux sortant aux points **1J1-31/32** dont 1J1-32 constitue la masse. En ces points sort la valeur de la tension appliquée aux bornes du moteur M5. Les points **1J1-26/27** devront indiquer la même valeur de tension que précédemment.

★ **Test du drapeau G.S. :**

L'interrupteur S₇ est ouvert, tandis que S₄ est fermé ; et on garde les manipulations précédentes.

Voici le schéma de ce test :

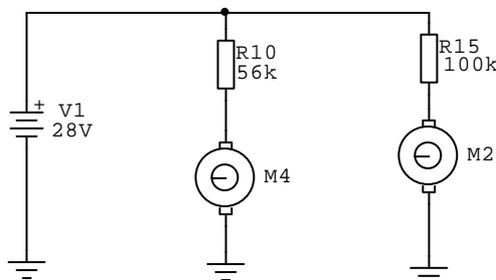


Figure I-3- 4: test du drapeau G.S.

Le moteur M₄ commande l'apparition et le retrait du drapeau GS

Résultat du test : le drapeau GS doit être effacé.

On devra vérifier les signaux sortant aux points **1J1-35/36** dont 1J1-36 indique la masse. En ces points devra sortir la tension appliquée aux bornes du moteur M4. On doit également vérifier la tension aux points **1J1-26/27**.

★ **Déviatiion V.O.R. /LOC. :**

On ferme l'interrupteur S₆ et S₄ est ouvert. On garde les autres manipulations antérieures. Voici le schéma du montage : le potentiomètre R12 a comme valeur 1000Ω.

¹⁷ Drapeau NAV ou drapeau V.O.R./LOC

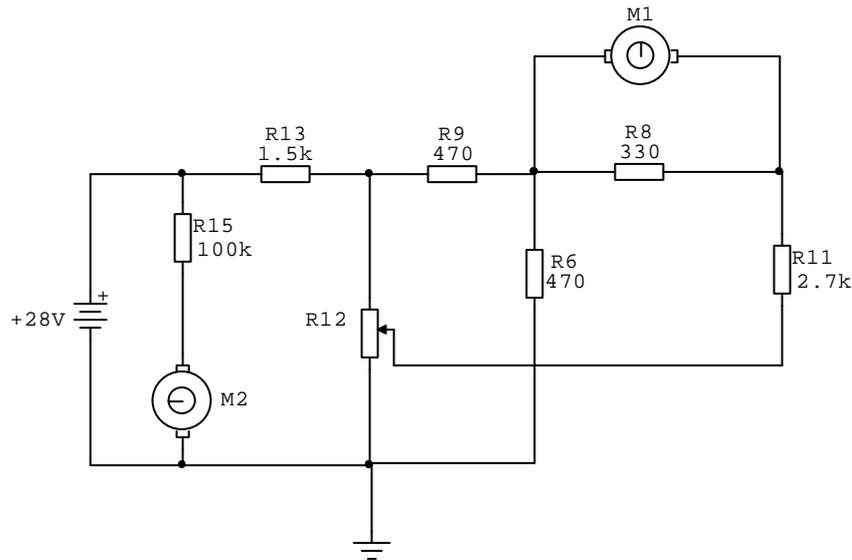


Figure I-3- 5: déviation V.O.R. /LOC.

Le moteur M_1 commande le mouvement de la barre de déviation latérale.

Résultat du test : on fait varier la valeur du potentiomètre R12 et on devra obtenir un déplacement de la barre.

On devra vérifier les signaux sortant aux points **1J1-28/29** dont 1J1-29 indique la masse. En ces points sort la valeur de la tension appliquée aux bornes du moteur M1. Les points **1J1-26/27** devront indiquer les mêmes valeurs que précédemment.

★ **Déviation G.S. :**

Dans cette séquence de test, on ouvre S_6 et on ferme S_2 . Les manipulations préalables sont gardées.

Le schéma du montage est identique qu'au schéma précédent, la valeur des résistances et des moteurs ne changent pas, seule leur désignation diffère.

R15 reste R15 et M2 également. R13 est remplacé par R7 ; R12 par R5 ; R9 par R3 ; R6 par R1 ; M1 par M3 ; R8 par R2 et R11 par R4.

Résultat du test : on fait varier le potentiomètre R5 on obtient des déplacements du pointeur GS.

On devra vérifier les signaux sortant aux points **1J1-33/34** dont 1J1-34 est la masse. En ces points devra sortir la valeur de la tension appliquée aux bornes du moteur M3. Même remarque que précédemment pour les points **1J1-26/27**.

★ **Pointeur To /From :**

On positionne S_5 sur "to", S_2 est ouvert.

Voici le schéma du montage :

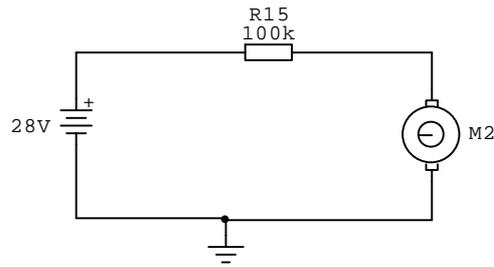


Figure I-3- 6: Pointeur To /From

Résultat du test : le pointeur To/From devra changer de position (de bas vers le haut ou l'inverse)
On devra vérifier les signaux sortant aux points **1J1-26/27**.

Pour les autres tests restant, les manipulations à effectuer sont résumées par le tableau I-3-1, on se contentera de donner les points de tests à vérifier.

★ **Rose des caps** :

Les points suivants devront être vérifiés :

- **1J1-26/27** indiquant toujours les mêmes points.
- **1J1-17/18/19** : chaque couple de points indique la tension de ligne des enroulements statoriques du synchro B7.
- **1J2-13/14** : dont 1J2-14 est la masse. En ces points, on peut visualiser la valeur de la tension pour le retour de la tendance $\frac{\lambda dS}{dt}$ fournie par la génératrice de MG1.
- **1J2-21** : ce point représente la sortie du signal d'erreur venant du rotor du synchro B7. Le point noir situé sur le banc (voir figure II-1-1) est la masse.
- **1J2-11** : c'est le point d'entrée du signal amplifié par l'amplificateur type "O" du banc pour alimenter le moteur de MG1.
- **O-4** : c'est le point d'entrée du signal d'erreur du rotor de B7 pour être amplifié par l'amplificateur type "O" du banc.
- **O-2** : en ce point est appliquée la tension d'alimentation de l'amplificateur type "O".
- **O-5** : entrée de la tension de retour de le tendance $\frac{\lambda dS}{dt}$.
- **O-7** : sortie de la tension amplifiée.

4.2. *Le gyroscope directionnel est testé seul* :

Les points à vérifier sont les suivants :

- **G-A/B/C** : chaque couple de points indique la tension de ligne des enroulements statoriques du synchro B1.
- **G-J et G-K** : chaque point fait ressortir la tension des moteurs du système de mise à niveau.
- **G-H** : entrée de la tension d'alimentation de la toupie du gyroscope.
- **G-D** : entrée de la tension d'alimentation du rotor du synchro B1.

4.3. On teste ensemble l'indicateur de route et l'amplificateur d'asservissement :

Les points à vérifier sont les suivants :

- **A/A-2** : entrée de la tension continue pour alimenter le bloc Q1-Q4.
- **A/A-16/4** : sortie de la tension continue pour alimenter le moteur du drapeau compas de l'indicateur de route. On doit retrouver la même valeur de tension au point **1J1-30** qui représente le point d'entrée.
- **A/A-6/7** : entrée de la tension d'erreur provenant du rotor du synchro B7. On doit retrouver la même valeur de tension au point **1J1-21** qui représente le point de sortie.
- **A/A-9** : entrée de la tension de retour de la tendance $\frac{\lambda dS}{dt}$. On doit retrouver la même valeur de tension aux points **1J1-13/14** qui représentent les points de sortie.
- **A/A-22/23/24** : chaque couple de points indique la tension de ligne pour le synchro-différentiel (15).
- **A/A-13/14/15** : chaque couple de points indique la tension de ligne de sortie du synchro-différentiel (15).
- **A/A-8** : sortie de la tension amplifiée par le bloc Q13-15. On retrouvera la même valeur de tension au point **1J2-11**.

4.4. On teste ensemble l'indicateur de route, l'amplificateur d'asservissement et la vanne de flux :

Voici les points de tests à vérifier :

- **A/A-18/19** : dont A/A-19 est la masse. En ces points est appliquée la tension fournie par le bloc d'alimentation Q1-Q4 de l'amplificateur d'asservissement pour alimenter la vanne de flux.
- **A/A-13/14/15** : chaque couple de points indique la tension de ligne de sortie du synchro-différentiel (15). On retrouvera la même valeur de tension aux points **1J2-17/18/19**.

- **A/A-11/12** : entrée de la tension d'erreur fournie par le rotor du synchro B10. On devra obtenir la même valeur de tension aux points **1J2-35/36** qui seront les points de sortie.

- **V/F-1/2/3** : sortie de la tension qui représente la valeur électrique du nord magnétique. On aura la même valeur aux points **1J2-32/33/34**.

Les points **A/A-2**, **A/A-16/4** = **1J1-30**, **A/A-13/14/15** = **1J2-17/18/19**, **1J2-21** = **A/A-7/6**, **1J2-13** = **A/A-9** et **A/A-8** = **1J2-11** ont les mêmes remarques que précédemment.

4.5. On teste ensemble l'indicateur de route, l'amplificateur d'asservissement et le gyroscope directionnel :

Les points à vérifier sont les suivants :

- Les points **A/A-2**, **A/A-16/4** = **1J1-30**, **A/A-13/14/15** = **1J2-17/18/19**, **1J2-21** = **A/A-13** = **A/A-9** et **A/A-8** = **1J2-11** ont les mêmes remarques que précédemment.

- **A/A-5** : sortie de la tension pour alimenter le rotor du synchro B1 du gyroscope directionnel. On devra avoir la même valeur de tension au point **G-D** qui est le point d'entrée.

- **A/A-17/29** : sortie de la tension d'alimentation de la toupie du gyroscope. Le point **G-H**, qui sera le point d'entrée, devra fournir la même valeur de tension.

- **G-A/B/C** : chaque couple de points indique la tension de ligne des enroulements statoriques du synchro B1. Les points **A/A-22/23/24** devront indiquer les mêmes valeurs de tension.

Les points **G-J** et **G-K** ont la même remarque qu'au paragraphe 4 - 2.

4.6. On teste l'ensemble système PN-101 :

Les points **A/A-2**, **A/A-16/4** = **1J1-30**, **A/A-5** = **G-D**, **A/A-17/29** = **G-H**, **G-A/B/C** = **A/A-22/23/24**, **G-J**, **G-K**, **A/A-13/14/15** = **1J2-17/18/19**, **1J2-13** = **A/A-9** et **A/A-8** = **1J2-11** gardent les mêmes remarques que précédemment.

Les points **A/A-18/19** = **V/F-4/5**, **V/F-1/2/3** = **1J2-32/33/34** et **1J2-35/36** = **A/A-11/12** ont les mêmes remarques qu'au paragraphe 4.4

4.7. On teste le R.M.I. : (voir figure I-2-2)

➤ **Vérification de la rose des caps :**

Les points suivants devront être vérifiés :

- **e/f/g** : chaque couple de points indique la tension de ligne appliquée aux bornes du stator de B3.

- **c-d** : est appliquée la tension d'erreur du rotor de B3.
- **a-b-Z** : chaque couple de points indique la tension de ligne appliquée aux bornes du stator de B4.
- **V** : sortie de la tension amplifiée pour alimenter le moteur de MG1

➤ **Vérification RC :**

- **B/E/G** : chaque couple de points indique la tension de ligne appliquée aux bornes du stator de B2 ou B1 selon la sélection simple ou double barre.
- **C** : entrée de la tension pour alimenter le rotor de B2 ou B1.

➤ **Vérification V.O.R. :**

- **B/H/F** : chaque couple de points indique la tension de ligne appliquée aux bornes du stator de B1 ou B2 selon la sélection simple ou double barre.
- **D** : entrée de la tension pour alimenter le rotor de B2 ou B1.

5. **Quelques symptômes de défaut de la transmission électrique :**

En se basant uniquement sur le synchro récepteur :

Rotor bloqué sur 0° ou 180° : S1 et S3 en court-circuit

Rotor bloqué sur 120° ou 300° : S1 et S2 en court-circuit

Rotor bloqué sur 60° ou 240° : S2 et S3 en court-circuit

Rotor aligné à 90° ou 270° par rapport à la valeur normale : R1 et R2 en court-circuit

Rotor aligné à 0° ou 180° par rapport au signal, rotation correcte, couple faible : R1 ou R2 en circuit ouvert.

Rotor aligné à 180° par rapport au signal, rotation et couple corrects : R1 et R2 inversés.

Rotor aligné à 120° par rapport au signal avec rotation et couple corrects : S1 et S2 inversés.

Rotor aligné à 240° par rapport au signal avec rotation et couple corrects : S2 et S3 inversés.

Rotor aligné à 0° par rapport au signal avec rotation inversée et couple correct : S1 et S3 inversés.

Rotor oscille autour de S1 ou à 180° de S1 : S1 en circuit ouvert.

Rotor oscille autour de S2 ou à 180° de S1 :S2 en circuit ouvert.

Rotor oscille autour de S3 ou à 180° de S1 :S3 en circuit ouvert.

Avec un accès au synchro transmetteur, en partant de 0° en tournant doucement l'axe en sens anti-horaire :

Récepteur tourne dans le sens horaire à partir de 240° :S1 et S2 inversés.

Récepteur tourne dans le sens horaire à partir de 120° :S2 et S3 inversés.

Récepteur tourne dans le sens horaire à partir de 0° :S1 et S3 inversés.

Récepteur tourne dans le sens horaire à partir de 60° :S1 et S2 inversés et R1 et R2 inversés.

Récepteur tourne dans le sens horaire à partir de 300° :S2 et S3 inversés et R1 et R2 inversés.

Récepteur tourne dans le sens horaire à partir de 180° :S1 et S3 inversés et R1 et R2 inversés.

Récepteur tourne dans le sens anti-horaire à partir de 180° :R1 et R2 inversés.

Récepteur tourne dans le sens anti-horaire à partir de 300° : Permutations : S1 sur S2, S2 sur S3, S3 sur S1 et R1 et R2 sont inversés.

Récepteur tourne dans le sens anti-horaire à partir de 60° : Permutations : S1 sur S3, S2 sur S1, S3 sur S2 et R1 et R2 sont inversés.

Sequences de test	Alimentation			Simul. GD+CAP	CAP drap.	Simul. aig.+V .O.R.	Ampli. +GD		V.O.R./LOC			G.S.	
	115V AC	26V AC	28V DC				Recal. rapide	Alim. Direct.	Dev.	Drap.	To	Dev.	Drap.
Drapeau compas	arrêt	arrêt	marche	arrêt	simulé	arrêt	-	normal	arrêt	Arrêt	from	arrêt	Arrêt
Drapeau NAV	arrêt	arrêt	marche	arrêt	normal	arrêt	-	normal	arrêt	marche	from	arrêt	Arrêt
Drapeau GS	arrêt	arrêt	marche	arrêt	normal	arrêt	-	normal	arrêt	arrêt	from	arrêt	Marche
Déviations VOR/LOC	arrêt	arrêt	marche	arrêt	normal	arrêt	-	normal	marche	arrêt	from	arrêt	Arrêt
Déviations GS	arrêt	arrêt	marche	arrêt	normal	arrêt	-	normal	Arrêt	Arrêt	from	Marche	Arrêt
Pointeur To/From	arrêt	arrêt	marche	Arrêt	normal	arrêt	-	normal	arrêt	arrêt	To	arrêt	Arrêt
Rose de cap	marche	marche	marche	331A-6P	normal	arrêt	-	normal	arrêt	arrêt	To	arrêt	Arrêt
332E-4	marche	marche	marche	arrêt	normal	arrêt	-	simulé	arrêt	arrêt	0	arrêt	Arrêt
331A-6P +328A-3G	marche	marche	marche	332E-4	normal	Arrêt	-	normal	arrêt	arrêt	0	arrêt	Arrêt
331A-6P +328A-3G +323A-3G	marche	marche	marche	332E-4	normal	arrêt	appuyé	normal	arrêt	arrêt	0	arrêt	arrêt
331A-6P+													

+328A-3G +332E-4	arrêt	arrêt	marche	arrêt	normal	arrêt	-	normal	arrêt	arrêt	0	arrêt	Arrêt
331A-6P +328A-3G +323A-3G 332E-4	arrêt	arrêt	marche	arrêt	normal	arrêt	-	normal	arrêt	arrêt	0	arrêt	arrêt
332C-4	marche	marche	marche	332C-4	-	Arrêt	-	-	-	-	-	-	-
332C-4	marche	marche	marche	arrêt	-	R.C. ¹⁸	-	-	-	-	-	-	-
332C-4	marche	marche	marche	arrêt	-	V.O.R	-	-	-	-	-	-	-

Tableau I-3- 1: Séquences de test

Alimentation 115V 400Hz = interrupteur S8

Alimentation 26V 400Hz = interrupteur S1

Alimentation 28V DC = interrupteur S9

Simulateur GD+CAP = sélecteur S12

Drapeau Cap = interrupteur S3

Ampli + DG : recal. rap. (recalage rapide) = S11

Alimentation Directe = S10

V.O.R./LOC : interrupteur DEV = S6

interrupteur drapeau = S7

interrupteur TO/FROM = S5

potentiomètre simulateur = R12

G.S. : interrupteur DEV = S2

interrupteur drapeau = S4

potentiomètre simulateur = R5

simulateur aiguille R.C.+ V.O.R =

sélecteur S13

¹⁸ L'opération R.C. est le fait de sélectionner une station A.D.F.

**PARTIE II : CONCEPTION ET RÉALISATION
DE LA CARTE
D'ACQUISITION DES SIGNAUX ISSUS DU PN-
101**

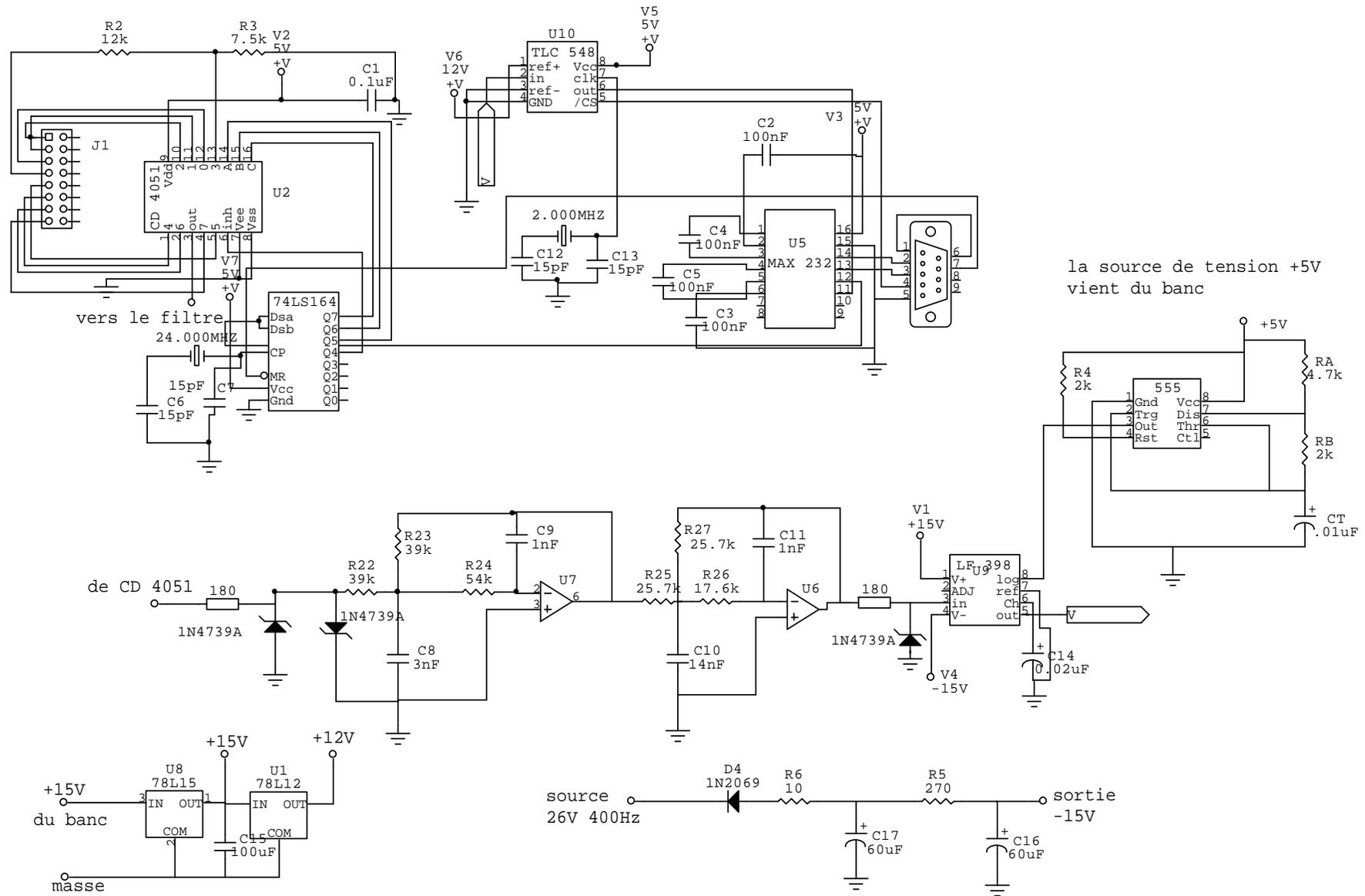


Figure 1: Schéma électronique de la carte d'acquisition

Dans cette partie, on va concevoir une carte d'interface entre le banc d'essai et un ordinateur pour afficher certains signaux sortants du banc et l'afficher sur l'écran du PC. En effet, pendant les dépannages des éléments de l'instrument, on doit disposer d'un oscilloscope et d'un voltmètre pour suivre l'évolution des signaux. Comme il existe plusieurs points de test à la sortie du banc et dont certains sont liés, le temps perdu pour la manipulation des appareils de mesure sera énorme. Aussi, a-t-on décidé de faciliter le travail des techniciens de l'atelier instrument de bord en affichant les signaux sur ordinateur. Cette technique permettra de gagner beaucoup de temps pendant les dépannages et fournira également un élément de preuve pour les résultats des tests puisqu'on peut enregistrer ou imprimer les allures des tensions affichées.

On se propose de fournir deux techniques d'acquisition qui se différencient par leur coût, le nombre de signaux à afficher. Dans un premier temps, on va réaliser un interface dans le cas où on va employer le port série comme port de communication avec l'ordinateur. La carte est représentée par la figure 1. Ensuite, on réalisera une petite carte dans le cas où on va envoyer les signaux vers la carte son de l'ordinateur.

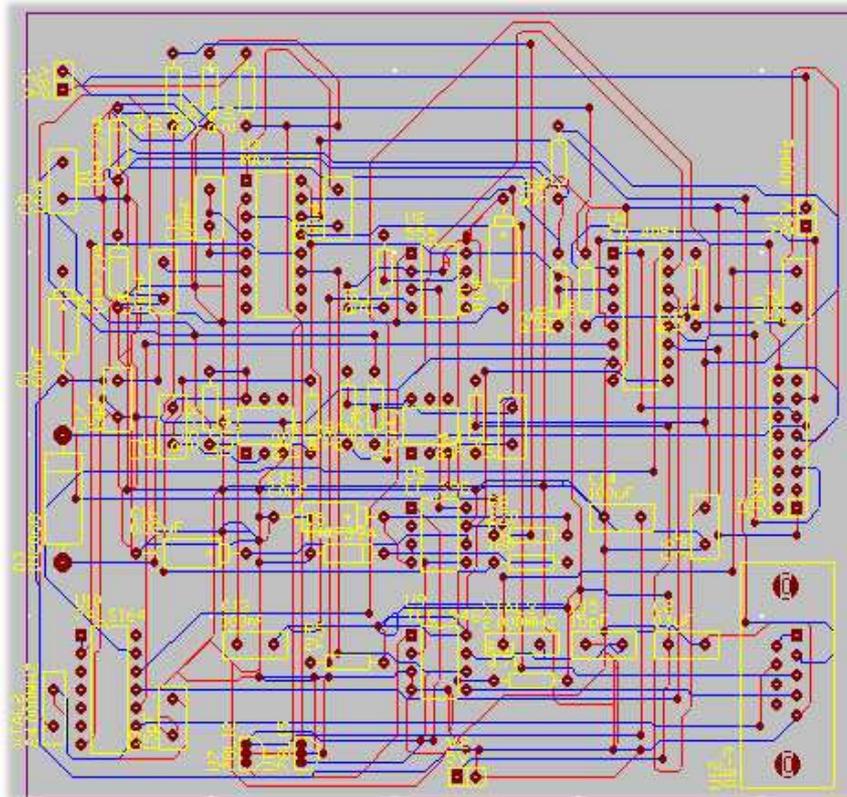


Figure 2: Routage de la carte d'acquisition

Chap. 1

Caractéristiques des signaux issus Du Banc d'essai

Avant de numériser les signaux, présentons- les d'abord, c'est-à-dire les signaux sortant et entrant dans chaque unité du système PN-101 et de l'indicateur radio magnétique. Les signaux ont été mesurés sur oscilloscope et voltmètre.

Notons que les points de test situés au niveau du banc sont numérotés de telle façon qu'ils correspondent avec les sorties de chaque unité du système.

Ex : les sorties du synchro B7 de l'indicateur de route est 1J2-17/18/19 ; sur le banc on trouve : 17-18-19

1) L'indicateur de route 331A-6P :

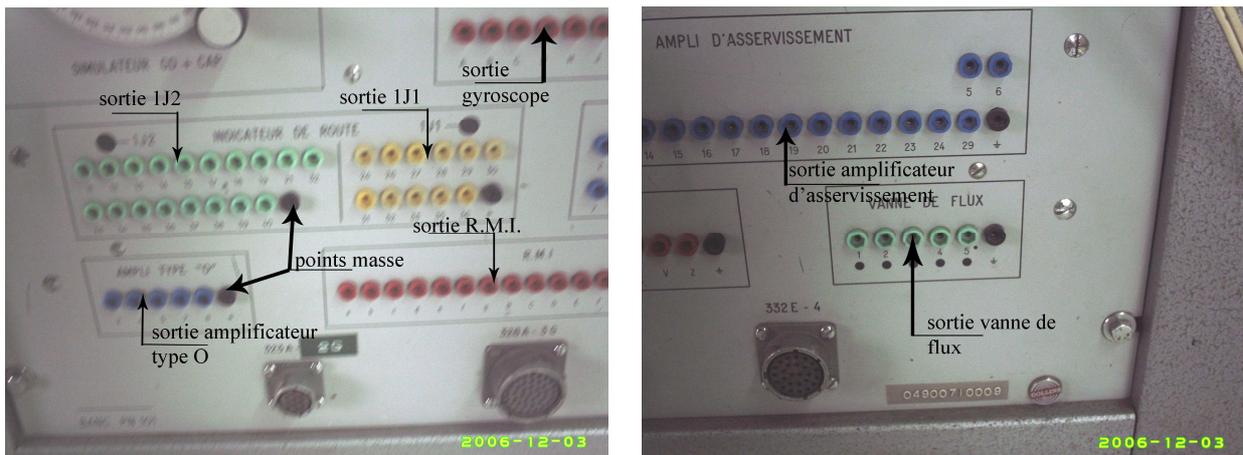


Figure II-1- 1: Points de test du banc d'essai

Voici les signaux qui alimentent les moteurs des drapeaux et pointeurs. Rappelons que ces signaux sont continus.

On va mettre dans le tableau II-1-1 tous ces signaux avec les points de test correspondants.

N°	Tests	Points de test	Signaux
1	Drapeau heading	1J1-30	3V DC
		1J1-26/27	55mV DC
2	Drapeau NAV	1J1-31/32	0,5V DC
		1J1-26/27	55mV DC
3	Drapeau GS	1J1-35/36	0,5V DC
		1J1-26/27	55mV DC
4	Déviation V.O.R./LOC	1J1-28/29	Entre 0,2V et 0,3 V DC
		1J1-26/27	55mV DC
5	Déviation GS	1J1-33/34	Entre 0,2V et 0,3 V DC
		1J1-26/27	55mV DC
6	Pointeur TO/FROM	1J1-26/27	55mV DC

Tableau II-1- 1: Signaux pendant le test des différents moteurs

1J1-30 veut dire prendre la mesure entre le point numéroté 30 et la masse du banc de couleur noir.

Pour les autres notations, on effectue la mesure entre les deux points. Par exemple 1J1-26/27 : entre 26 et 27.

Voici les signaux qui devront être vérifiés pendant le test de la rose des caps.

N°	Points de test	Signaux
1	1J1-26/27	55mV DC
2	1J2-17/18/19	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
3	1J2-13 = O-5	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
4	1J2-21/14 = O-4	Tension sinusoïdale 2V 400Hz maximale
5	1J2-11 = O-7	Tension sinusoïdale 32V 400Hz maximale
6	O-2	Tension sinusoïdale 26V 400Hz

Tableau II-1- 2: Signaux pour le test de la rose des caps

1J2-17/18/19 veut dire vérifier les signaux entre les lignes : 17/18 ensuite 17/19 et 18/19. Elles devront fournir une tension maximale de 11,8 V 400Hz suivant la valeur de l'angle de rotation du simulateur GD+CAP qui est synchro.

La lettre O désigne l'amplificateur type O : 2, 4, 5, 7 étant ses sorties.

2) **Gyroscope 332E-4 :**

Voici maintenant les signaux à vérifier pendant le test du gyroscope seul sur le banc.

N°	Points de test	Signaux
1	G-A/B/C	11,8V 400Hz maximale
2	G-J	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
3	G-K	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
4	G-H	Tension sinusoïdale 115V 400Hz
5	G-D	Signal carré 26V 400Hz

Tableau II-1- 3: Signaux pendant le test du gyroscope directionnel

La remarque sur A/B/C est la même que celle sur 1J2-17/18/19. G désigne le gyroscope.

3) **L'indicateur de route et l'amplificateur d'asservissement :**

Pendant le test de l'indicateur de route et de l'amplificateur d'asservissement, plusieurs points doivent être vérifiés où A/A désigne amplificateur d'asservissement.

N°	Points de test	Signaux
1	A/A-2	27,5V DC
2	A/A-16/4 = 1J1-30	3V DC
3	A/A-6/7 = 1J2-21/14	Tension sinusoïdale 2V 400Hz maximale
4	A/A-9 = 1J2-13	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
5	A/A-22/23/24	11,8V 400Hz maximale
6	A/A-13/14/15	11,8V 400Hz maximale
7	A/A-8 = 1J2-11	Tension sinusoïdale 32V 400Hz maximale

Tableau II-1- 4: Signaux à la sortie de l'amplificateur

4) **L'indicateur de route, l'amplificateur d'asservissement et la vanne de flux :**

Les points de test correspondant à cette séquence sont les suivant :

N°	Points de test	Signaux
1	A/A-2	27,5V DC
2	A/A-16/4 = 1J1-30	3V DC
3	A/A-18/19 = V/F-4/5	5V 400Hz
4	V/F-1/2/3 = 1J2-32/33/34	Tension de ligne sinusoïdale 4V 800Hz
5	1J2-35/36 = A/A-11/12	Tension sinusoïdale 2V 800Hz maximale
6	A/A-13/14/15 = 1J2-17/18/19	11,8V 400Hz maximale
7	1J2-21 = A/A-7/6	Tension sinusoïdale 2V 400Hz maximale
8	1J2-13 = A/A-9	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
9	A/A-8 = 1J2-11	Tension sinusoïdale 32V 400Hz maximale

Tableau II-1- 5: Signaux à vérifier pendant le test du 331A-6P+328A-3G+323A-3G

V/F désigne la vanne de flux.

5) **L'indicateur de route, l'amplificateur d'asservissement et le gyroscope :**

Voici les points de test et leur signal correspondant.

N°	Points de test	Signaux
1	A/A-2	27,5V DC
2	A/A-16/4 = 1J1-30	3V DC
3	A/A-5 = G-D	Signal carré 26V 400Hz
4	A/A-17/29 = G-H	Signal carré 115V 400Hz
5	G-A/B/C = A/A-22/23/24	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
6	G-J	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
7	G-K	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
8	A/A-13/14/15 = 1J2-17/18/19	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
9	1J2-21 = A/A-7/6	Tension sinusoïdale 2V 400Hz maximale
10	1J2-13 = A/A-9	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
11	A/A-8 = 1J2-11	Tension sinusoïdale 32V 400Hz maximale

Tableau II-1- 6 : Signaux à vérifier pendant le test de 331A-6P+328A-3G+332E-4

6) **Le système PN-101 :**

Voici maintenant les signaux à vérifier si on teste les 4 unités du système PN-101.

N°	Points de test	Signaux
1	A/A-2	27,5V DC
2	A/A-16/4 = 1J1-30	3V DC
3	A/A-18/19 = V/F-4/5	Tension sinusoïdale 5V 400Hz
4	A/A-5 = G-D	Signal carré 26V 400Hz
5	A/A-17/29 = G-H	Signal carré 115V 400Hz
6	V/F-1/2/3 = 1J2-32/33/34	Tension de ligne sinusoïdale 4V 800Hz
7	1J2-35/36 = A/A-11/12	Tension sinusoïdale 2V 800Hz maximale
8	G-A/B/C = A/A-22/23/24	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
9	G-J	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
10	G-K	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
11	A/A-13/14/15 = 1J2-17/18/19	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
12	1J2-13 = A/A-9	Tension sinusoïdale 1V 400Hz maximale
13	A/A-8 = 1J2-11	Tension sinusoïdale 32V 400Hz maximale

Tableau II-1- 7: Signaux à vérifier pendant le test du système PN-101

7) **L'indicateur radio magnétique :**★ Test de la rose des caps :

Voici les signaux à vérifier pendant cette séquence.

N°	Points de test	Signaux
1	e/f/g	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
2	c/d	Tension sinusoïdale 2V 400Hz maximale
3	a/b/c	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
4	V	Tension sinusoïdale 32V 400Hz maximale

Tableau II-1- 8: Signaux pendant le test de la rose

★ Test quand on sélectionne R.C. :

Voici maintenant les signaux pendant cette séquence.

N°	Points de test	Signaux
1	B/E/G	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
2	C	Tension sinusoïdale 26V 400Hz

Tableau II-1- 9: Signaux pendant la séquence de test R.C.

★ Test quand on sélectionne le V.O.R. :

On obtient ici les mêmes signaux mais les points de test sont différents.

N°	Points de test	Signaux
1	B/H/F	Tension sinusoïdale 11,8V 400Hz maximale
2	D	Tension sinusoïdale 26V 400Hz

Tableau II-1- 10: Signaux pendant la séquence de test V.O.R.

Chap. 2 Descriptions Générales de la carte D'acquisition

1. Principe de l'acquisition des données :

L'acquisition des données est basée sur l'utilisation d'un convertisseur analogique numérique. Le calculateur est un mini-ordinateur et le clavier sert à commander l'ordinateur pour exécuter les programmes.

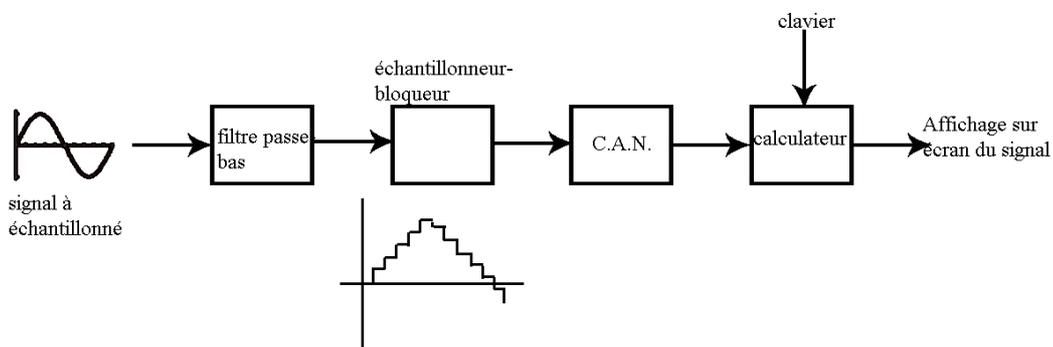


Figure II-2- 1: Schéma de principe de la chaîne d'acquisition

1.1. Avantages des techniques numériques :

De nombreux critères favorisent la technique numérique :

- Précision des mesures apportées par la lecture digitale (disparition des erreurs de parallaxe)
- Précision liée au nombre de chiffres significatifs (il est possible d'utiliser un nombre de chiffre significatif important)
- L'enregistrement numérique apporte de multiples avantages (fiabilité des informations, perte de qualité inexistante)
- Possibilité de transmettre des données sur une grande distance.
- Possibilité d'imprimer les résultats.

1.2. Inconvénient des techniques numériques :

Les informations doivent être converties sous forme numérique, le temps lié aux conversions et au traitement pourra être important.

1.3. Les signaux à afficher :

Tous les signaux à la sortie du banc peuvent être affichés sur l'ordinateur, qu'ils soient continus soient alternatifs. Or notre Convertisseur Analogique Numérique a été dimensionné avec une tension de référence égale à 10V, aussi certains signaux ayant une valeur efficace supérieure à 10V seront diminués à l'aide d'un pont diviseur. De plus, le multiplexeur CD 4051 ne possède que 8 entrées, les signaux qu'on va afficher seront :

- 1J1-30, 1J1-26/27, 1J1-31/32, 1J1-35/36, 1J1-28/29, 1J1-33/34,
- 1J2-17/18/19, O-2
- G-A/B/C, G-D,
- A/A-16/4, A/A-22/23/24, A/A-13/14/15, A/A-18/19, A/A-5
- V/F-4/5, V/F-1/2/3,
- e/f/g, a/b/Z, B/E/G, C, B/H/F, D dans le cas où on teste le R.M.I.

2. Rôle des différents composants :

2.1. Rôle de l'échantillonneur-bloqueur :

L'échantillonneur-bloqueur sert à maintenir la tension constante pendant la phase de conversion du signal analogique en numérique.

2.2. Rôle du filtre anti-repliement :

Lors de l'échantillonnage, on a un produit de convolution du signal brut par un peigne de Dirac. Posons f_m la fréquence maximale du signal brut et f_e la fréquence d'échantillonnage. Si $f_m > \frac{f_e}{2} \Rightarrow$ on a un repliement du spectre (figure II-2-2).

On possède deux solutions pour éviter ce problème :

- On choisit une fréquence d'échantillonnage f_e très grande en respectant le théorème de Shannon.
- Mettre avant l'échantillonneur-bloqueur un filtre passe-bas analogique dont la fréquence de coupure inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage.

Les filtres anti-repléments sont donc des filtres passe-bas qui permettent d'atténuer le signal de manière à avoir à $\frac{f_e}{2}$ une valeur du signal $<$ au quantum du C.A.N. pour éviter tout repliement.

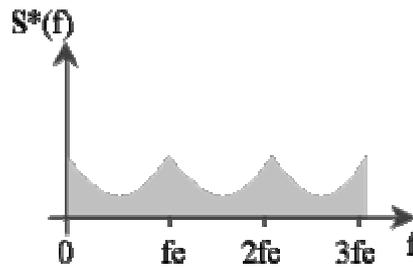


Figure II-2- 2: repliement du spectre

2.3. Rôle du convertisseur analogique numérique :

La conversion Numérique-Analogique (C.N.A. ou D.A.C.) et la conversion Analogique-Numérique (C.A.N. ou A.D.C.) sont les procédés permettant d'interfacer les processeurs numériques avec le monde réel.

Le rôle du convertisseur est, donc, de convertir, après un certain temps, une tension d'entrée analogique V_e en code de sortie numérique correspondant à l'entrée.

3. Mode de connexion au port de sortie du calculateur numérique :

La carte d'acquisition est reliée au calculateur numérique par l'intermédiaire du port série. L'utilisation du port série présente plusieurs avantages :

- Les ports séries sont très bien protégés contre les maladdresses qui pourraient les détruire.
- Les appareils peuvent être connectés ou déconnectés sans risque alors que l'ordinateur est sous tension.
- Un port série peut fournir un courant suffisant pour alimenter des dispositifs élémentaires.
- Avec le port série, on peut transmettre des données sur plusieurs mètres.

L'inconvénient du port est que l'on doit convertir en données parallèles les données transmises sériellement, ce qui entraîne le plus souvent un supplément d'investissement. Mais de nos jours, les ordinateurs sont équipés d'un circuit qui permet de convertir les signaux parallèles envoyés par le processeur en signaux sériels et inversement. Ce circuit s'appelle **U.A.R.T.** ou Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. Dans le sens inverse pour la commande du multiplexeur, on doit disposer d'un circuit permettant de transformer les données sérielles à la sortie du port série en données parallèles : c'est le circuit intégré **74LS164**. Et on va choisir un C.A.N. possédant déjà une sortie sérielle.

3.1. Géométrie du port série :

Le port série peut se présenter sous deux formes : une prise DB9 mâle ou une prise DB25 mâle.

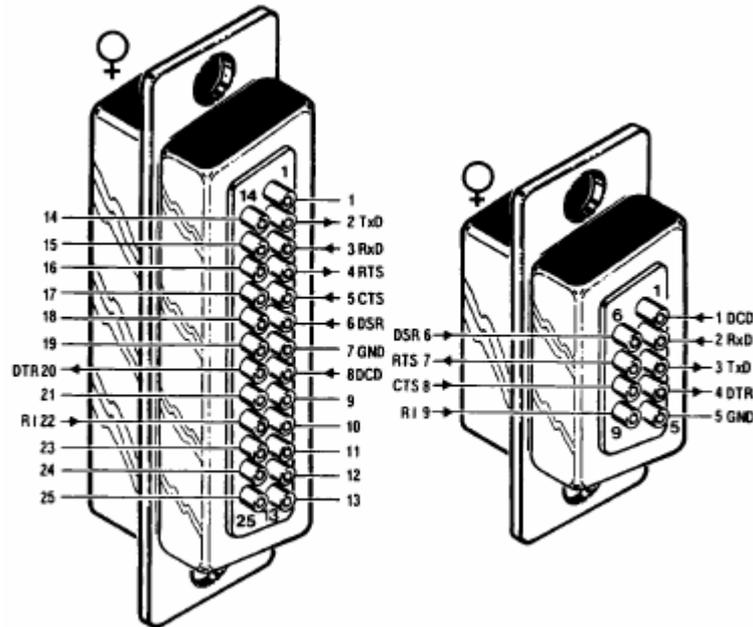


Figure II-2- 3: géométrie du port série

DB25	DB9	Nom	Sens	Désignation
8	1	DCD ou RLSD	Entrée	Détection de porteuse
3	2	RxD	Entrée	Réception de données
2	3	TxD	Sortie	Transmission de données
20	4	DTR	Sortie	Terminal prêt
7	5	GND	-	Masse Logique
6	6	DSR	Entrée	Données prêtes
4	7	RTS	Sortie	Demande d'émissions
5	8	CTS	Entrée	Prêt à émettre
22	9	Ring	Entrée	Indicateur de sonnerie

Tableau II-2- 1: Nom des broches

Description des signaux :

- **DCD** (Data Carrier Detect) ou **RLSD** (Receive Line Signal Detect) cette ligne est une entrée active à l'état haut. Elle signale à l'ordinateur qu'une liaison a été établie avec un correspondant.
- **RxD** (Receive Data) cette ligne est une entrée et où transitent les informations du correspondant vers l'ordinateur.

- **TxD** (Transmit Data) cette ligne est une sortie. Les données de l'ordinateur vers le correspondant sont véhiculées par son intermédiaire.
- **DTR** (Data Terminal Ready) cette ligne est une sortie active à l'état haut. Elle permet à l'ordinateur de signaler au correspondant que le port série a été libéré et qu'on peut l'utiliser.
- **GND** (Ground) masse.
- **DSR** (Data Set Ready) cette ligne est une entrée active à l'état haut. Elle permet au correspondant de signaler qu'une donnée est prête.
- **RTS** (Request To Send) cette ligne est une sortie qui, quand elle est active, est à l'état haut. Elle indique au correspondant que l'ordinateur veut lui transmettre des données.
- **CTS** (Clear To Send) cette ligne est une entrée active à l'état haut. Elle indique à l'ordinateur que le correspondant est prêt à recevoir des données.
- **RI** ou **Ring** (Ring indicator) cette ligne est une entrée active à l'état haut. Elle permet à l'ordinateur de savoir qu'un correspondant veut initier une communication avec lui.

D'un point de vue électronique, les signaux TX et RX en sortie des prises répondent aux normes RS232 : -12V correspond à un état bas et +12V à un état haut. Toutes les sorties sont protégées en court-circuit et peuvent délivrer quelque 10mA. Comme les circuits d'entrée des ordinateurs reconnaissent comme niveau bas des tensions inférieures à 1V, il est aussi permis de travailler avec des niveaux TTL (0V/5V).

Quatre ports séries sont normalisés sur un PC.

COM 1: 3F8-3FF, l'interruption est le 4

COM 2: 2F8-2FF, l'interruption est le 3

COM 3: 3E8-3EF, l'interruption est le 4

COM 4: 2E8-2EF, l'interruption est le 3

Format des données : La communication série nécessite trois fils au minimum: une masse pour référencer les signaux, un fil émetteur et un fil récepteur. La liaison série est en effet full-duplex¹⁹.

3.2. *La transmission synchrone et asynchrone :*

Dans la liaison série, puisque seul un fil transporte les données, un problème de synchronisation survient entre l'émetteur et le récepteur. Aussi il existe deux types de transmission pour résoudre ce problème.

¹⁹ L'on peut émettre et recevoir en même temps

- **La liaison asynchrone**, dans laquelle chaque caractère, précédé d'une information indiquant le début de transmission (bit START) et terminé par une information de fin de transmission (bit STOP), est émis de façon irrégulière dans le temps.
- **La liaison synchrone**, dans laquelle émetteur et récepteur sont cadencés à la même horloge. Des informations supplémentaires sont insérées pour garantir l'absence d'erreur lors de la transmission.

Note : quelque soit la liaison utilisée, on utilise souvent un bit de parité pour contrôler les informations envoyées.

Voici les différents paramètres rentrant en jeu lors d'une communication série:

- **Longueur de mot** : sur le PC, le BIOS ne permet une longueur de mot que de 7 ou 8 bits.
- **Parité** : le mot transmis peut être suivi d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission. Il existe deux parités: la parité paire et la parité impaire. L'intérêt de ce rajout est le suivant: si jamais lors de la transmission un état 1 est transformé en état 0 (perturbation du canal par des parasites par exemple) le nombre total de 1 change et donc le bit de parité recalculé par le récepteur ne correspond plus à celui reçu. L'erreur est donc détectée.
- **Bit de start** : lorsque rien ne circule sur la ligne, celle-ci est à l'état haut. Pour indiquer qu'un mot va être transmis, la ligne passe à bas avant de commencer le transfert. Cette précaution permet de resynchroniser le récepteur.
- **Bits de stop** : ces bits signalent la fin de la transmission. Selon le protocole utilisé, il peut y avoir 1, 1.5, ou 2 bits de stop (ces bits sont toujours à 1).
- **Vitesse de transmission** : la plupart des cartes série permettent de choisir une vitesse entre 300 et 9600 bauds.

4. **Réalisation du software** :

Le logiciel Delphi 7 possède des composants à installer pour la gestion des ports séries. Ces composants s'appellent **CPortLib** et peuvent être téléchargés sur le site <http://www.sourceforge.net/projects/comport/>.

Il y a deux paquets à compiler et installer : **paquet d'exécution** (CPortLib7.dpk) et **paquet de conception** (DsgnPortLib.dpk). Ce dernier paquet contient les composants suivants :

- **TComComboBox** : composant visuel d'aide à la configuration du TComPort.
- **TComDataPacket** : composant de gestion de trames reçues.

- **TComLed** : composant permettant de visualiser l'activité du composant ComPort associé.

- **TComPort** : composant d'accès au port série lui-même.
- **TComRadioGroup** : composant visuel d'aide à la configuration du TComPort.
- **TComTerminal** : composant de visualisation des trames de la série.

Détaillons l'utilisation des composants qu'on va utiliser dans notre logiciel.

4.1. **TComPort** :



C'est le composant principal de ce paquet, c'est lui qui va permettre de configurer et de gérer le port série. Il comporte toutes les propriétés de configuration de la liaison série.

Détaillons les plus importantes et celles qu'on modifie le plus souvent.

- Propriété **Port**

Cette propriété définit le port à utiliser sur le PC. Dans la liste déroulante seuls les ports existant physiquement apparaissent.

- Propriété **BaudRate**

Définit la vitesse de la liaison série en Bauds.

- Propriété **DataBits**

Définit le nombre de bits de chaque caractère émis/reçu sur la liaison série.

- Propriété **Parity**

Définit le type de bit de parité de chaque caractère.

- Propriété **StopsBits**

Nombre de bits de stops de chaque caractère.

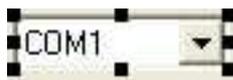
- Propriété **FlowControl**

Cet ensemble de propriétés permet de définir la gestion de flux de caractère sur la liaison série.

- Propriété **Connected**

Cette propriété permet d'ouvrir/fermer la liaison série et aussi d'en vérifier son état.

4.2. **TComComboBox** :



Ce composant permet de configurer de façon visuelle la liaison série. Il est utilisé pour créer une interface de configuration du port série en quelques clics.

La liste des propriétés est la suivante :

- Propriété **ComPort**

Permet de choisir à quel composant TComPort celui-ci doit être associé.

- Propriété **ComProperty**

Permet de définir quel paramètre de la liaison sera affecté par le composant. Comme par exemple la vitesse, la parité, etc...



4.3. TComLed :

Ce composant permet de réaliser une animation visuelle d'activité de la liaison série. La liste des propriétés est la suivante :

- Propriété **ComPort**

Permet de choisir à quel composant TComPort celui-ci doit être associé.

- Propriété **Kind**

Permet de définir le type de dessin du composant. Dans notre cas, elle est à **IkGreenLight**.

- Propriété **LedSignal**

Permet d'associer le composant à un état particulier de la liaison série

- Propriété **State**

Permet de définir, mais surtout de connaître l'état ON/OFF du composant. Quand la liaison est active, cette propriété est en lecture seule.

4.4. Le Logiciel PACqui :

L'interface d'accueil se présente comme suit :



Figure II-2- 4: Interface d'accueil

Le bouton "Fermer" est de type TBitBtn dont la propriété **kind** est mise à bkClose pour fermer totalement l'application.

Dans la procédure attachée à l'évènement OnClick du bouton "Suivant", on va appeler la forme "Port" contenant la configuration du port série.

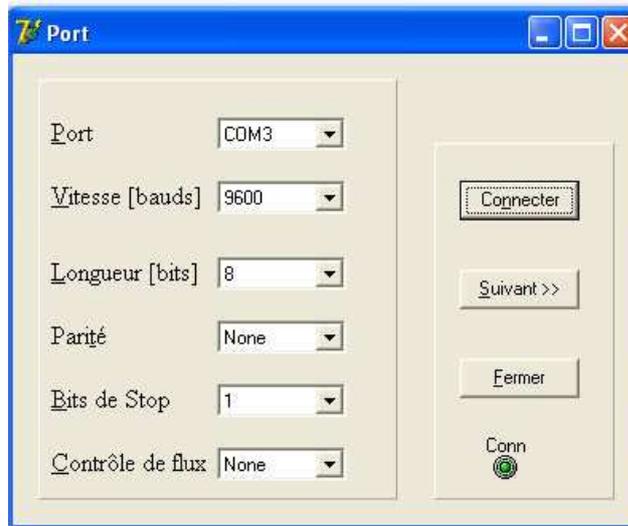


Figure II-2- 5: Configuration du port série

La procédure attachée à l'évènement OnClick du bouton "Connecter" est la suivante :

procedure TPort.Button1Click(Sender: TObject);

begin

Acc.ComPort1.Port:=ComComboBox1.Text;

Acc.ComPort1.Connected:=true;

end;

Cette procédure permet d'ouvrir le port. Le bouton "Suivant" fait appel à la forme "Tests" qui indique les tests possibles sur le banc à l'aide de boutons.

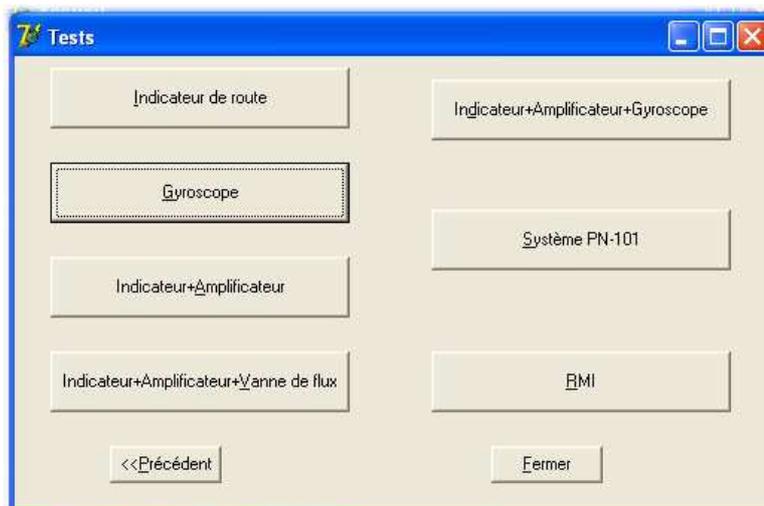


Figure II-2- 6: Tests sur le banc

Chaque bouton fait appel à l'oscilloscope virtuel.

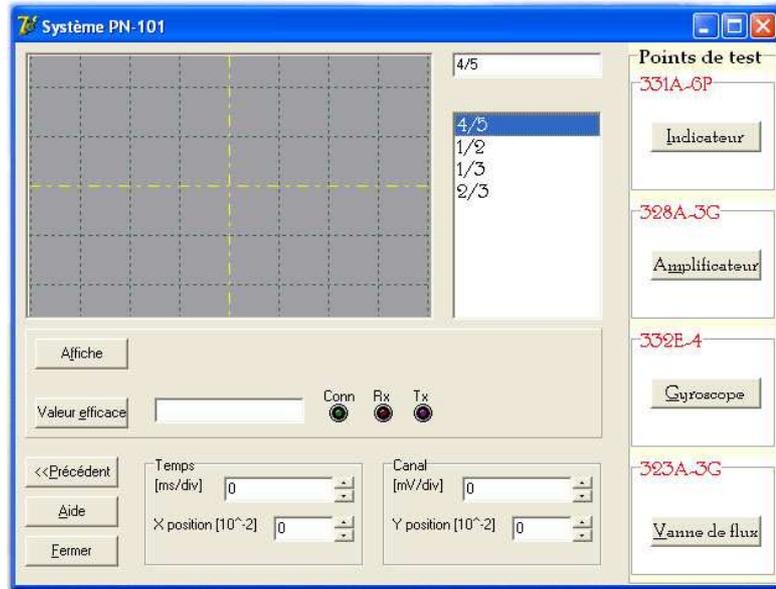


Figure II-2- 7: Oscilloscope virtuel dans le cas du test du système PN-101 ensemble

Il faut ensuite choisir parmi les points de test affichés se trouvant sur la liste en cliquant dessus. Cette action enverra les bits nécessaires pour sélectionner le canal du multiplexeur correspondant au signal sélectionné. Cet envoi se fait de façon asynchrone dont voici le code pour le cas du test de l'indicateur de route + amplificateur d'asservissement + vanne de flux. Pendant la procédure d'envoi, le led "Rx" doit passer de la couleur rouge à la couleur verte.

Var

```
WriteASyncPtr:PAsync = Nil;
```

```
procedure TVanne.ListBox1Click(Sender: TObject);
begin
  Edit1.Text:=ListBox1.Items[ListBox1.ItemIndex];
  if ((Edit1.Text='1J1-30')or(Edit1.Text='16/4'))
  then
  begin
    // Mise à jour de la structure d'envoi
    CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
    // Envoi différé
    Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(5),WriteASyncPtr);
  end;
  if ((Edit1.Text='1J1-17/19')or(Edit1.Text='13/15'))
  then
  begin
    CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
```

```
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(0),WriteAsyncPtr);
end;
if ((Edit1.Text='1J1-17/18')or(Edit1.Text='13/14'))
then
begin
CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(2),WriteAsyncPtr);
end;
if ((Edit1.Text='1J1-18/19')or(Edit1.Text='14/15'))
then
begin
CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(1),WriteAsyncPtr);
end;
if ((Edit1.Text='1/2')or(Edit1.Text='1J2-32/33'))
then
begin
CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(4),WriteAsyncPtr);
end;
if ((Edit1.Text='1J2-32/34')or(Edit1.Text='1/3'))
then
begin
CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(7),WriteAsyncPtr);
end;
if ((Edit1.Text='1J2-33/34')or(Edit1.Text='2/3'))
then
begin
CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(6),WriteAsyncPtr);
end;
if ((Edit1.Text='4/5')or(Edit1.Text='18/19'))
then
```

```

begin
// Mise à jour de la structure d'envoi
CPort.InitAsync(WriteASyncPtr);
// Envoi différé
Acc.ComPort1.WriteStrAsync(IntToStr(3),WriteAsyncPtr);
end;
end;

```

En cliquant sur le bouton “Afficher“, on collecte les données venant de la carte. La réception se fait également de façon asynchrone. Le code est le suivant dans le cas toujours du même test.

```

procedure TVanne.Button1Click(Sender: TObject);
begin
ye:= 0;
x:=0 ;
timer1.Enabled:=true;
Button6.Enabled:=false;
end;
procedure TVanne.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
tablo.Canvas.MoveTo(round(x/10),tablo.Height div 2 -round(ye*tablo.Height/2));
x:=x+1;
ye:=recevoirasync;
tablo.Canvas.LineTo(round(x/10),tablo.Height div 2 -round(ye*tablo.Height/2));
end;

```

La fonction recevoirasync est comme suit :

```

function TVanne.recevoirasync:real;
var chaine:string;
begin
Acc.ComPort1.Timeouts.ReadTotalConstant:=17000;
Acc.ComPort1.ClearBuffer(true,false);
CPort.InitAsync(ReadAsyncPtr);
Try
Chaine:="";
Acc.Comport1.ReadStr(Chaine,123);

```

```

Repeat
  Application.ProcessMessages;
Until Acc.Comport1.IsAsyncCompleted(ReadAsyncPtr);
Finally
  CPort.DoneAsync(ReadAsyncPtr);
end;
Result:=StrToFloat(chaine);
end;

```

5. **Les composants électroniques de la carte d'acquisition :**

5.1. Le filtre anti-repliement :

Le filtre anti-repliement est un filtre de type Butterworth, puisque celui-ci présente une bande passante la plus plate possible donc **très précis**, mais la coupure est moins franche que le type Tchebychev donc **moins efficace**.

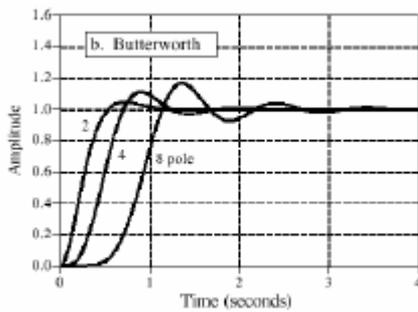


Figure II-2- 8: Réponse indicielle d'un filtre de Butterworth

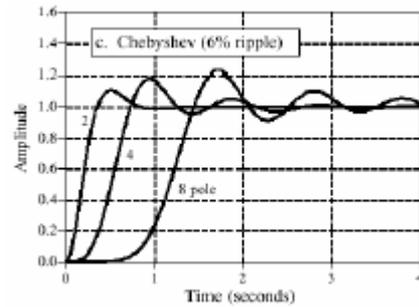


Figure II-2- 9: Réponse indicielle d'un filtre de Tchebychev

5.1.1. Synthèse du filtre :

On va choisir la fréquence d'échantillonnage $f_e = 16\text{kHz}$, la fréquence de coupure $f_c < \frac{f_e}{2}$; on va donc choisir $f_c = 2\text{kHz}$.

a. Caractéristique du C.A.N. : La tension de référence $V_{ref} = 10\text{V}$; la résolution

du C.A.N. est = 8bits; d'où la valeur du quantum est $q = \frac{V_{ref}}{2^n} = 39,06\text{mV}$.

b. Approximation de Butterworth:

L'atténuation du filtre à $f_b = \frac{f_e}{2}$ est égale à $-A_b = 20 \cdot \log\left(\frac{q}{V_{ref}}\right) = -48,16\text{dB}$, A_b est le gain en bande atténuée. Le gain d'un filtre de Butterworth s'exprime par :

$$G(j\Omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \cdot \Omega^{2n}}} \quad (2-1)$$

Où $\Omega = \frac{\omega}{\omega_c}$; ω_c est la pulsation de coupure ;

$\varepsilon = \sqrt{10^{0,1A_p} - 1}$, A_p est le gain obtenu en bande passante.

Comme A_p est égale à 3dB d'où $\varepsilon = 1$

L'ordre n du filtre est obtenu par la formule :

$$n \geq \frac{\log \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{10^{0,1A_b} - 1}}{\log \Omega_b} \quad (2-2)$$

$$k = \frac{\omega_p}{\omega_b}$$

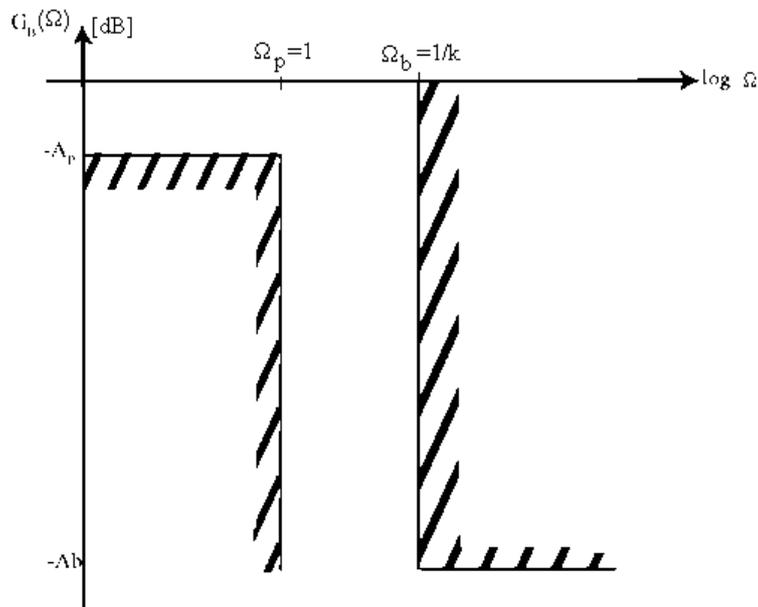


Figure II-2-10: Approximation de Butterworth

Choix de l'ordre du filtre :

D'après les calculs précédents, $A_b = 48,16$ dB ; $\varepsilon = 1$.

$$\Omega_b = \frac{1}{k} = \frac{\omega_b}{\omega_p} = \frac{f_b}{f_p} = \frac{8}{2} = 4 ; f_p = f_c = 2 \text{ kHz et } f_b = f_c/2 = 8 \text{ kHz}$$

D'où d'après l'équation (2-2), $n \geq 3,9$; on va donc choisir $n = 4$

c. Synthèse du filtre:

On va utiliser comme structure du filtre, un filtre de RAUCH.

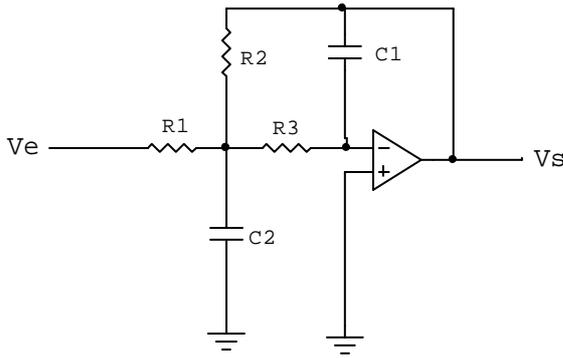


Figure II-2- 11: Filtre de RAUCH

La fonction de transfert du filtre en fonction de la valeur de Laplace normalisée s où $s = j\Omega$ ($p = j\omega = s\omega_c$) est :

$$G(s) = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + C_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \right) s \omega_c + C_1 C_2 R_2 R_3 s^2 \omega_c^2} \quad (2-3)$$

Ceci est de la forme : $G(s) = \frac{H_0}{1 + a.s + b.s^2}$; par identification on a :

$$a = \omega_c C_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \right)$$

$$b = \omega_c^2 C_1 C_2 R_2 R_3$$

$$H_0 = \frac{R_2}{R_1}$$

On va choisir arbitrairement la valeur des condensateurs C_1 et C_2 en respectant la condition suivante : $\frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4.b(1 + H_0)}{a^2}$ et on aura :

$$R_2 = \frac{aC_2 - \sqrt{a^2 C_2^2 - 4C_1 C_2 b(1 + H_0)}}{2C_1 C_2 \omega_c} \quad (2-4)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{H_0} \quad (2-5)$$

$$R_3 = \frac{b}{\omega_c^2 C_1 C_2 R_2} \quad (2-6)$$

On va décomposer en cellule élémentaire le filtre pour obtenir l'ordre 4. Pour cela, il faut résoudre l'équation : $1 + \varepsilon^2(-j)^{2n} s^{2n} = 0$ avec $n = 4$, on a : $1 + s^8 = 0$. Les zéros de l'équation sont :

$$\begin{aligned} S_1 &= -0,924+0,383j & S_5 &= 0,383+0,924j \\ S_2 &= -0,924-0,383j & S_6 &= 0,383-0,924j \\ S_3 &= -0,383+0,924j & S_7 &= 0,924+0,383j \\ S_4 &= -0,383-0,924j & S_8 &= 0,924-0,383j \end{aligned}$$

Pour une raison de stabilité, on va prendre les pôles à partie réelle négative. On aura donc :

$$G(s) = \frac{1}{(1 + 1,848.s + s^2)(1 + 0,7653.s + s^2)}$$
 ; par conséquent, on va utiliser deux cellules

d'ordre 2 tel que :

$$\begin{aligned} a_1 &= 1,848 ; b_1 = 1 \\ a_2 &= 0,7653 ; b_2 = 1 \end{aligned}$$

Cellule	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
1	39 kΩ	39 kΩ	54 kΩ	1 nF	3 nF
2	25,7 kΩ	25,7 kΩ	17,6 kΩ	1 nF	14 nF

Tableau II-2- 2: Synthèse de filtre

La simulation sur CircuitMaker 2000 nous donne :

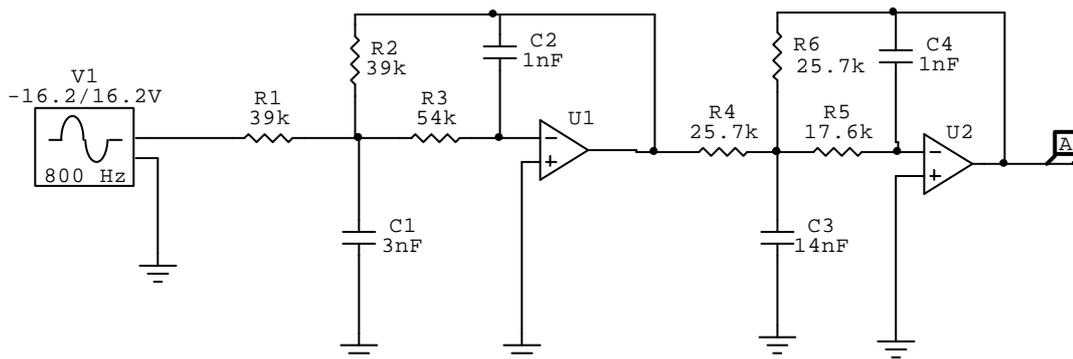


Figure II-2- 12: Simulation sur CircuitMaker 2000

Le diagramme de Bode de ce circuit sera :

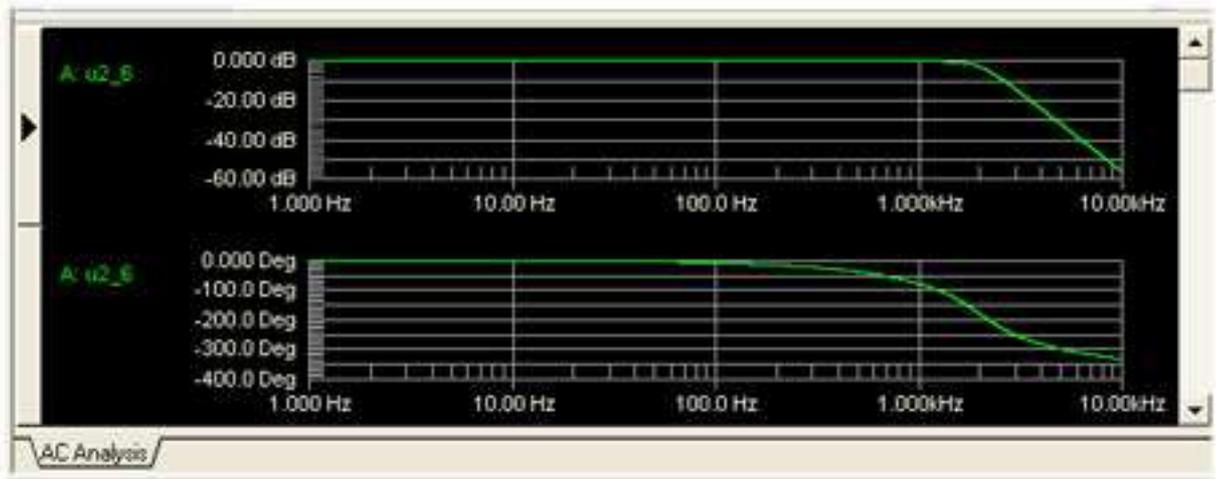


Figure II-2-13: Diagramme de Bode du filtre de Butterworth

On conclut, à partir de cette figure, que la fréquence de coupure est approximativement égale à 2kHz, une atténuation à peu près égale à -50dB.

5.2. L'échantillonneur-bloqueur :

5.2.1. **Principe :**

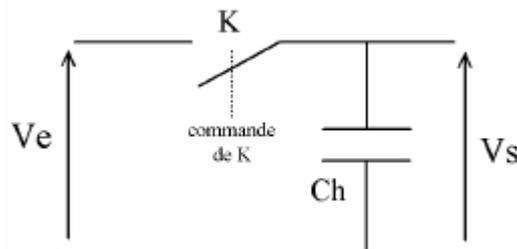


Figure II-2-14 : Schéma de base d'un échantillonneur-bloqueur

L'échantillonneur-bloqueur est constitué essentiellement d'un interrupteur K qui sert à réactualiser la valeur mémorisée et d'un condensateur appelé *condensateur de maintien* C_h qui joue le rôle d'élément mémoire.

- Quand l'interrupteur K est fermé pendant la durée t_{on} , c'est la phase d'acquisition du signal. La tension aux bornes de C_h évolue de la tension précédente à la nouvelle valeur de V_e et suit celle-ci.

- Quand K est ouvert pendant la durée t_{off} , c'est la phase de maintien et le C.A.N. convertit en numérique le signal analogique.

La période de conversion est notée T_e , tel que : $T_e = t_{on} + t_{off}$.

La figure suivante montre l'évolution du signal de sortie durant les différentes phases de fonctionnement.

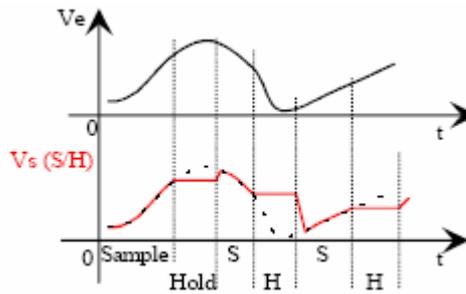


Figure II-2- 15: Evolution du signal de sortie pendant les phases d'échantillonnage et de maintien

Le temps de maintien t_{off} dépend de la valeur de condensateur de maintien C_h .

On peut remarquer sur cette figure que le signal de sortie ne suit pas exactement le signal d'entrée pendant la phase d'échantillonnage. Ceci est due aux erreurs multiples subissent par le signal. Elles sont dues :

- A l'interrupteur K qui possède une résistance à l'état passant R_{on} et une résistance à l'état ouvert R_{off} .
- Au condensateur dont les fuites du diélectrique peuvent être modélisées par une résistance en parallèle de la capacité. Celle-ci a le même effet de décharge que la résistance R_{off} .
- A l'électronique connectée avant et après K. Un amplificateur connecté avant K avec une résistance de sortie importante augmente R_{on} . Un amplificateur avec une faible impédance d'entrée située après K réduit R_{off} , ce qui contribue à augmenter la source des erreurs. En statique, le modèle de l'interrupteur K se ramène à la figure II-2-16.

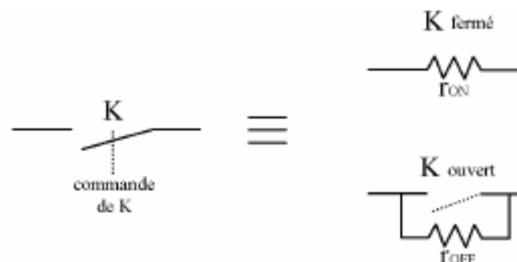


Figure II-2- 16: Schéma équivalent en statique de l'interrupteur K

5.2.1.1. Erreurs liées à l'interrupteur K :

Une valeur importante de R_{on} peut engendrer un retard à l'échantillonnage comme le montre la figure II-2-17 et une erreur de la mise en mémoire de la tension dans le condensateur C_h . Une faible valeur de R_{off} occasionne une décharge du condensateur. La tension ne reste pas constante pendant la phase de conversion par le C.A.N. et il s'ensuit une erreur sur la valeur numérique de sortie.

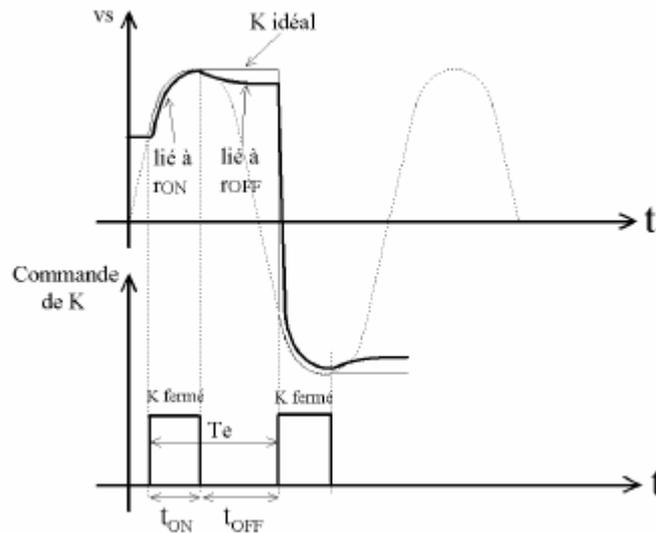


Figure II-2- 17: Manifestation des défauts de K sur la sortie Vs

5.2.1.2. Erreur liée à la charge du condensateur :

Supposons que le condensateur soit déchargé. Lors de la fermeture de K, la tension va évoluer suivant la courbe de la figure II-2-18. La durée de fermeture de K est fonction de la précision que l'on souhaite.

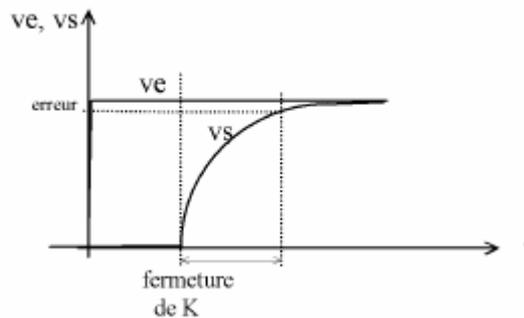


Figure II-2- 18: Erreur liée à la charge de Ch

La tension aux bornes de C_h est donnée par la relation suivante :

$$Vs(t) = Ve.(1 - e^{\frac{-ton}{Ron.Ch}}) \tag{2-7}$$

En supposant qu'à $t < 0$ $Vs(t) = 0$ et $Ve(t \rightarrow \infty) = Ve$, l'erreur relative $\epsilon_1 = \frac{Ve - Vs}{Ve}$ sera donc :

$$\epsilon_1 = e^{\frac{-ton}{Ron.Ch}} \tag{2-8}$$

Le tableau suivant donne la durée de fermeture en fonction de la précision d'échantillonnage.

ϵ_1	Ton
10^{-2}	$4,6.R_{on}.C_h$
10^{-3}	$6,9.R_{on}.C_h$
10^{-4}	$9,2.R_{on}.C_h$

Tableau II-2- 3: Choix de la durée de fermeture en fonction de la précision recherchée

Si l'erreur relative est trop grande, alors la tension de sortie V_s sera différente de celle de l'entrée et on obtiendra une valeur fautive de la tension pendant la phase de conversion.

5.2.1.3. Erreur liée à la décharge du condensateur :

Le condensateur est déchargé par la résistance parasite de l'interrupteur à l'état ouvert R_{off} et par la résistance d'entrée R_e de l'amplificateur placé après K. Soit $R = R_{off} // R_e$, l'équation de la décharge est :

$$V_s(t = t_{off}) = V_s(t = 0) \cdot e^{-\frac{t_{off}}{R.C_h}} \tag{2-9}$$

La durée de décharge t_{off} est inférieure à T_e , mais pour se placer dans un cas où on maximalise l'erreur, on considère que $t_{off} = T_e$. La décharge est faible et on peut donc remplacer le terme en exponentielle par son développement limité du 1^{er} ordre. On a donc :

$$V_s(T_e) = V_s(0) \cdot \left(1 - \frac{T_e}{R.C_h}\right) \Rightarrow \frac{V_s(0) - V_s(T_e)}{V_s(0)} = \frac{T_e}{R.C_h} \tag{2-10}$$

L'erreur relative est donc :

$$\epsilon_2 = \frac{T_e}{R.C_h} \tag{2-11}$$

Il est important que cette erreur soit minimum, sinon la tension V_s variera avec le temps, ce qui provoquera une erreur de conversion.

5.2.2. Dimensionnement de l'échantillonneur-bloqueur de la carte d'acquisition :

5.2.2.1. Choix de l'interrupteur K :

On choisit la précision de l'échantillonnage égale à 0,1%. Répartissons les erreurs suivantes : $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,05\%$. La fréquence d'échantillonnage sera = 16 kHz.

Considérons l'équation 2-8, on obtient : $t_{on} = 7,6 R_{on}.C_h$. Puisque $T_e = \frac{1}{f_e} = 6,25.10^{-5}$ s on va donc choisir $t_{on} = 32,5 \mu s$ et t_{off} sera égale à $30 \mu s$. Le temps d'acquisition t_{on} dépend de la valeur du condensateur C_h .

On va employer le circuit intégré LF398 pour l'échantillonneur-bloqueur car ce circuit permet une acquisition rapide. Le condensateur C_h est externe. Pour ce circuit, nous avons la famille de courbes suivante qui montre la variation du temps d'acquisition avec le condensateur C_h .

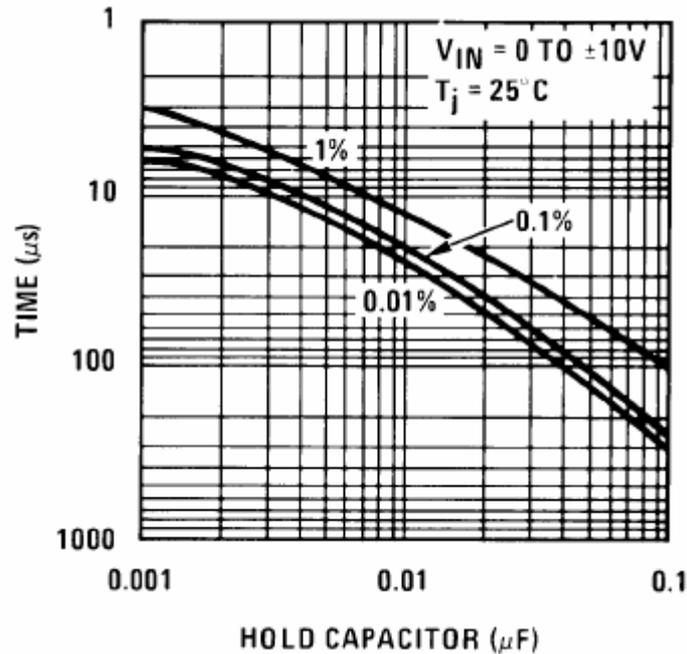


Figure II-2- 19: Variation de t_{on} avec C_h

Comme $t_{on} = 32,5 \mu s$ alors, d'après la figure II-2-19, $C_h = 0,02 \mu F$. La résistance R_{on} sera donc : $R_{on} = 213 \Omega$. D'après l'équation 2-11, on a $R.C_h = 2.10^{-4}$, d'où $R = R_{off}/R_e = 10 k\Omega$.

5.2.3. Description générale du circuit LF398 :

Le LF398 est un circuit intégré d'échantillonneur-bloqueur qui utilise la technologie J-FET pour une acquisition rapide, fabriqué par la société **National Semiconductor**. Ce circuit peut être opérationnel pour une source de tension variant de $\pm 5V$ à $\pm 18V$.

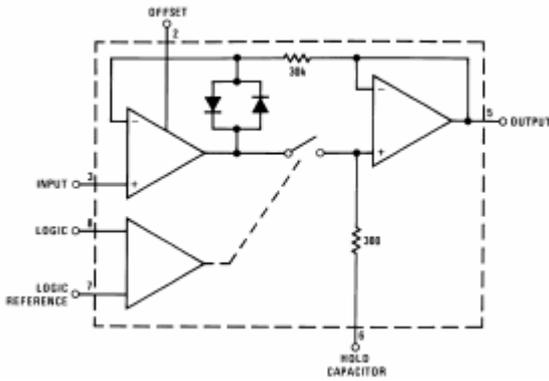


Figure II-2-20: Schéma du circuit LF398

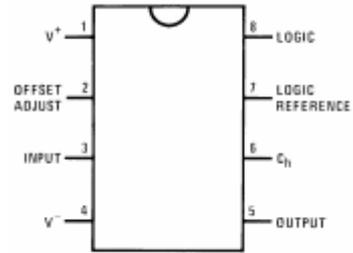


Figure II-2-21: Pins du boîtier du circuit LF398

On peut trouver en annexe IV les caractéristiques électriques du circuit, obtenues à partir des conditions suivantes :

- $-V_s + 3.5V \leq V_{in} \leq +V_s - 3.5V$ et $+V_s = +15V$ et $-V_s = -15V$
- la température ambiante est $25^\circ C$, et $C_h = 0.01\mu F$

5.2.4. **Différentes structures d'échantillonneur-bloqueur :**

De manière à s'affranchir de l'environnement amont et aval de l'échantillonneur-bloqueur, on dispose à l'entrée et à la sortie de celui-ci deux suiveurs, comme le montre la figure suivante :

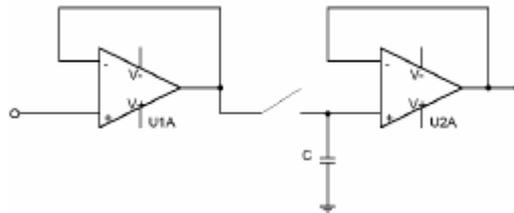


Figure II-2-22: Structure interne d'un échantillonneur-bloqueur

Le tableau suivant montre les différentes structures d'un échantillonneur-bloqueur (E/B).



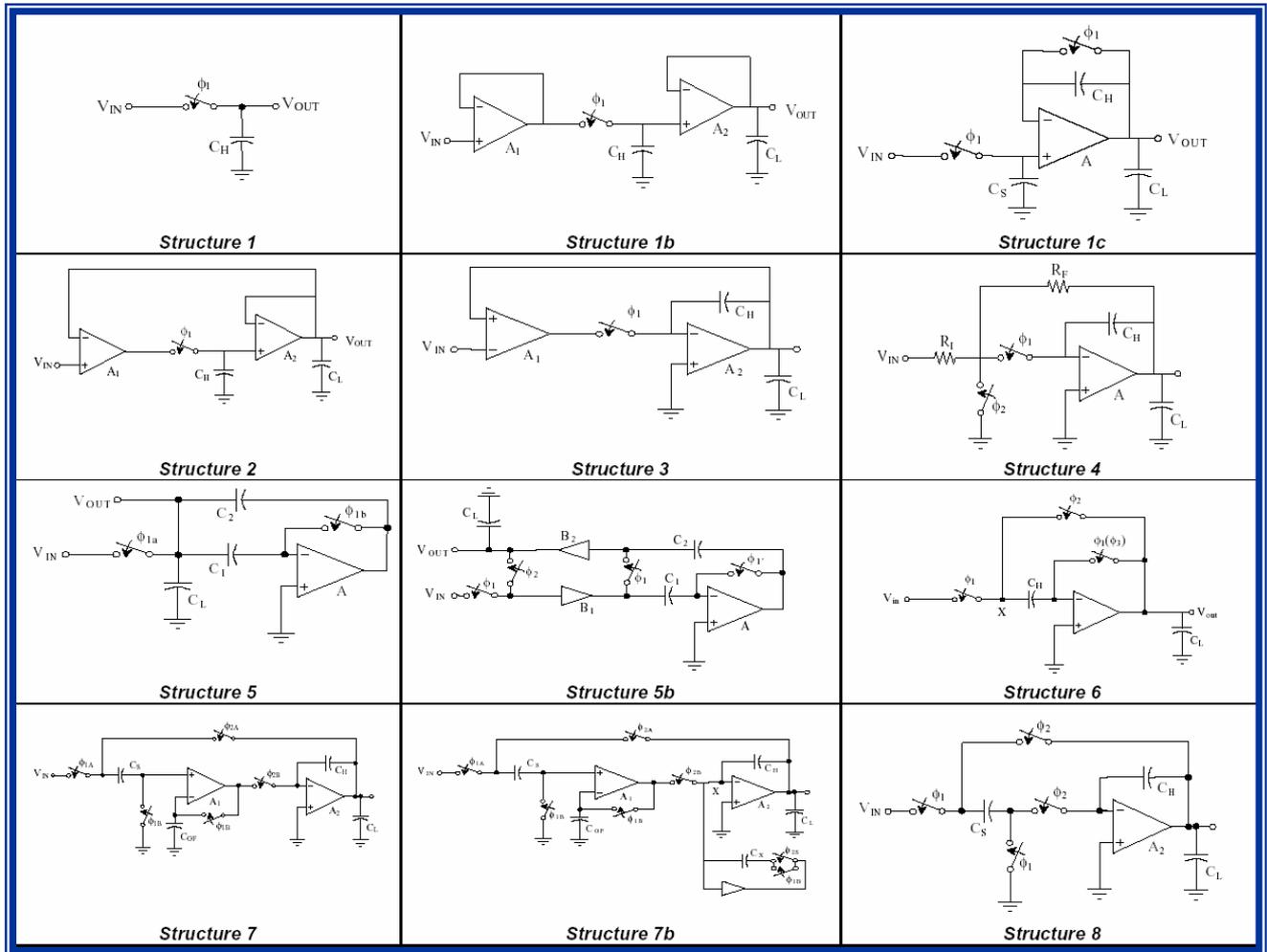


Tableau II-2-3 : Différentes structures d'E/B

5.3. Le convertisseur analogique numérique :

Il existe une très grande variété de convertisseurs Analogiques-Numériques qui diffèrent par :

- *La technique de conversion*
- *La complexité du circuit*
- *La vitesse de conversion*
- *La limite de précision*
- *La puissance dissipée*

Les circuits utilisés dans les C.A.S (Convertisseur par Approximations Successives) sont plus complexes que ceux des autres C.A.N, mais ils sont compatibles pour une application d'acquisition des données à cause de leur durée de conversion fixe qui ne dépend pas de la valeur de l'entrée analogique.

D'après le paragraphe 5.1.1 a., on devrait choisir un C.A.N. par approximations successives ayant une résolution de 8 bits et une tension de référence $V_{\text{ref}} = 10 \text{ V}$. De plus sa sortie devrait être sérielle.

On va donc choisir le circuit TLC 548 de **Texas Instrument**.

Le convertisseur est constitué en général :

- D'un convertisseur numérique analogique à réseau R/2R.
- D'un comparateur de tensions.
- D'un séquenceur (R.A.S.= registre à approximations successives)

Voici le schéma du convertisseur TLC 548.

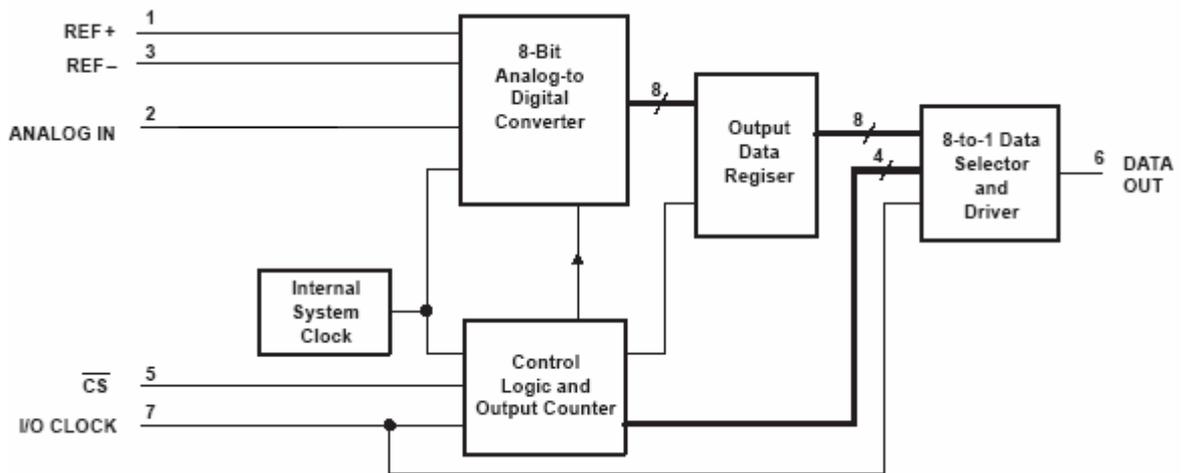
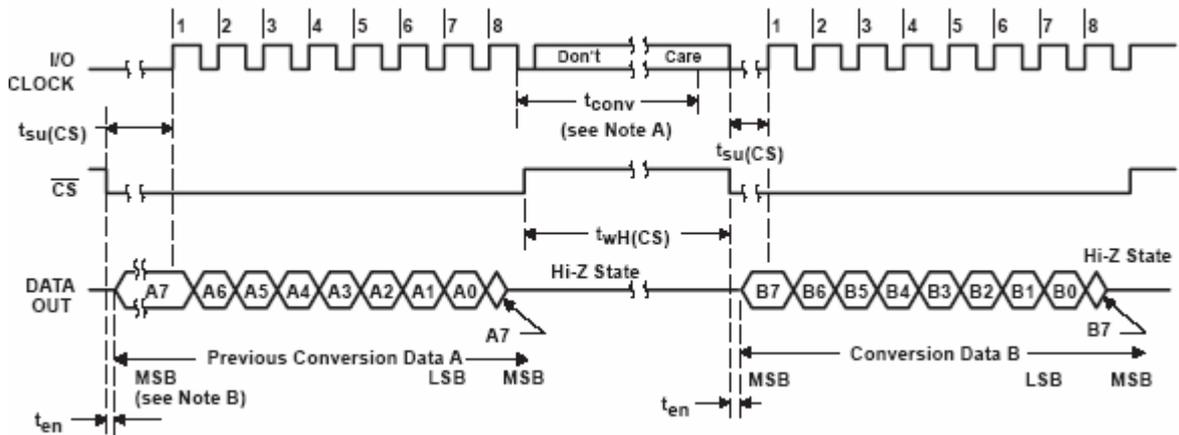


Figure II-2- 23: Schéma du convertisseur.

On utilise la technologie CMOS dans ce circuit intégré. La logique de commande (Control Logic) modifie le contenu du registre bit par bit jusqu'à ce que la donnée qui s'y trouve soit l'équivalent numérique du signal analogique. A la sortie du convertisseur ADC, les données sont envoyées parallèlement en 8 bits vers un registre de décalage, et on aura à la sortie du circuit intégré des données sérielles qui seront appliquées au pin 11 du MAX 232 pour être compatible avec la norme RS232. La fréquence de l'horloge interne est de 4MHz. L'utilisation d'une horloge externe associée avec l'horloge interne permet d'obtenir une conversion 45 500 échantillons par seconde. Le temps de conversion est de plus de 17 μs . Les caractéristiques électriques du circuit intégré TLC 548 sont données en annexe V. Le chronogramme du circuit est :



5.3.1. Principe de fonctionnement :

Soit N le nombre correspondant à la pleine échelle du C.A.N. Le registre d'approximations successives présente au C.N.A. le code $N/2$, qui est traduit en $V_{max}/2$. Le comparateur compare V_e à cette valeur ; si $V_e < V_{max}/2$, le R.A.S. présente $N/4$, sinon il essaie $3N/4$, cette valeur étant de nouveau comparée à V_e . Il faut donc N comparaisons pour un convertisseur de N bits. V_e indique la tension à l'entrée du C.A.N.

5.3.2. Durée de conversion :

En général, un C.A.S. de N bits nécessite N cycles d'horloge pour réaliser une conversion de n'importe quelle valeur de la tension d'entrée.

$t_c = N \cdot \text{cycles d'horloge}$. Dans notre cas, $t_c = 8$ cycles d'horloge.

5.3.3. Caractéristiques principales et les défauts d'un C.A.N. :

➤ **Résolution :** exprimée en nombre de bits ou en % de la pleine échelle, elle définit la valeur de la variation de la tension d'entrée donnant lieu à une variation d'une unité de la donnée numérique présente en sortie. Elle correspond à 1 LSB.

➤ **Polarité :** un convertisseur peut être *unipolaire* ou *bipolaire* selon qu'il peut accepter ou non des signaux d'entrée symétriques par rapport à zéro. Dans le cas d'un convertisseur bipolaire, le code de sortie correspond soit à un code binaire décalé, soit à un code complément à deux.

➤ **Temps de conversion :** durée écoulée entre l'instant d'apparition de l'impulsion de début de conversion et l'instant où la donnée est disponible sur le bus de sortie.

➤ **Erreur d'offset :** c'est la tension de décalage par rapport à zéro. Ce paramètre est réglable par des composants externes.

- **Erreur de gain** : elle caractérise la différence de tension pleine échelle entre un convertisseur idéal et un convertisseur réel. Ce paramètre est réglable par des composants externes.
- **Erreur de linéarité relative** : elle est définie comme la différence maximale entre la caractéristique réelle $N(V_e)$ et la caractéristique idéale. Ce paramètre n'est pas réglable.

5.4. Le multiplexeur :

Comme on va effectuer une acquisition de plusieurs tensions vers une même zone de stockage, on doit mettre un multiplexeur en amont de la chaîne d'acquisition pour obtenir une structure séquentielle décalée.

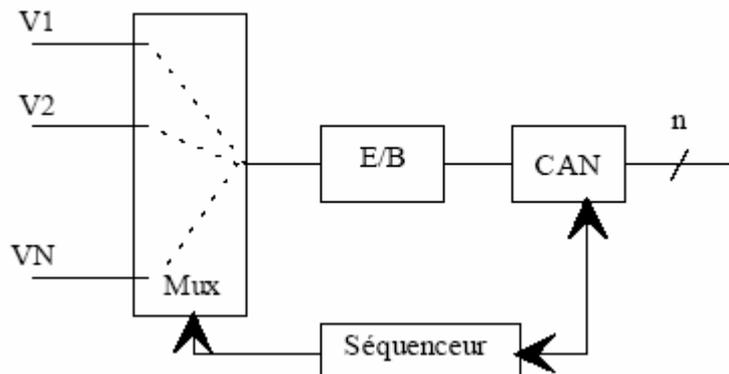


Figure II-2- 24 : Structure séquentielle décalée

L'avantage de cette structure est son côté économique. Par contre il y a un décalage dans le temps d'acquisition qui est à priori élevé car il est proportionnel au nombre de grandeurs à numériser. Les caractéristiques électriques du circuit intégré employé sont données en annexe VII.

Description du circuit :

Le circuit intégré CD 4051 est un multiplexeur analogique fabriqué par **Fairchild Semiconductor**. Il possède 8 canaux de sortie et 3 entrées de contrôle. Quand l'entrée terminale "inh" est mise à 1 logique, aucun signal n'est détecté sur les sorties. Le diagramme des pins de connections est donné par la figure suivante :

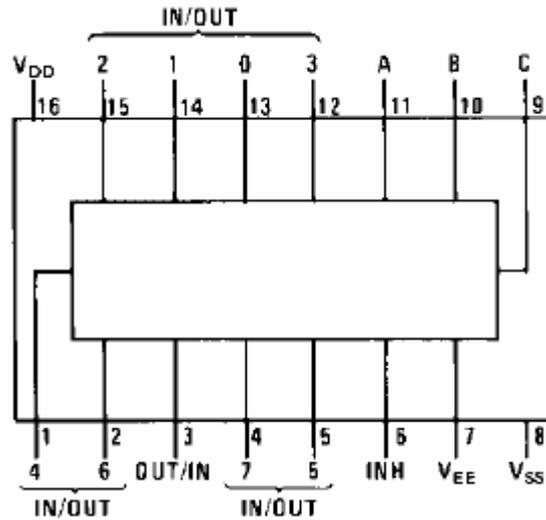


Figure II-2- 25: Diagramme des pins de connexions

Table de vérité du circuit CD 4051 :

ENTREES CONTRÔLES				Canal "ON"
INHIBIT	C	B	A	CD 4051
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	-	-	-	aucun

Tableau II-2- 4: Table de vérité de CD 4051

5.5. L'oscillateur NE-555 :

Un oscillateur est un système placé à la limite d'instabilité. Les formules utilisées dans le cas d'emploi de circuit intégré d'oscillateur NE-555 sont :

La fréquence f d'oscillation est donnée par :

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2.R_B)C} \tag{2-12}$$

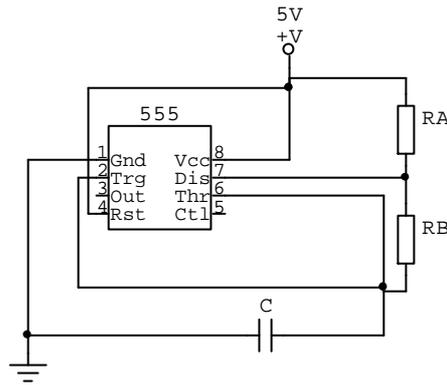


Figure II-2- 26: Montage d'un oscillateur

Le temps de niveau haut t_1 sera :

$$t_1 = 0,693.R_A .C \tag{2-13}$$

Le temps de niveau bas t_2 sera :

$$t_2 = \left(\frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B} \right) C \cdot \ln \left[\frac{R_B - 2.R_A}{2.R_B - R_A} \right] \tag{2-14}$$

Avec $T = t_1 + t_2$

Et $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_1 + t_2}$ et le rapport cyclique sera : $\alpha = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$

Application numérique :

Comme f est la fréquence d'échantillonnage, alors $f = 16 \text{ kHz}$, $t_1 = t_{on} = 32,5 \mu\text{s}$ et

$t_2 = t_{off} = 30 \mu\text{s}$.

D'après l'équation (2-13), on a : $R_A \cdot C = 46,897 \cdot 10^{-6}$

En choisissant $C = 0,01 \mu\text{F}$, on obtient : $R_A = 4,7 \text{ k}\Omega$ et d'après l'équation (2-12), on a :

$R_B = 2,15 \text{ k}\Omega$. On va choisir $R_B = 2 \text{ k}\Omega$.

5.6. Le circuit 74LS164 :

Le circuit 74LS164 est un circuit intégré à entrée sérielle et 8 bits parallèle de sortie. Il a été fabriqué par **Philips Semiconductors**. L'entrée peut être l'une des 2 entrées Dsa et Dsb. Mais on peut également les connecter ensemble. Le symbole logique est donné par la figure suivante :

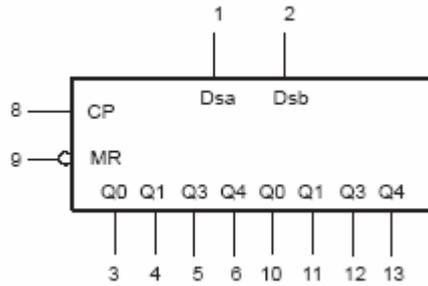


Figure II-2- 27: Symbole logique de 74LS164

La description des pins est donnée par le tableau suivant :

Pins	Description	Valeur du courant (min/max)
Dsa, Dsb	Entrées des données	20µA/0,1mA
CP	Clock Pulse (actif sur front montant)	20µA/0,1mA
MR	Master Reset (actif niveau bas)	20µA/0,1mA
Q0-Q7	Sorties des données	0,4 mA/8mA

Tableau II-2- 5: Description des pins

Le décalage des registres s'effectue à chaque coup d'horloge. Quand l'entrée de MR est mise à niveau bas, les registres sont effacés. Le système travail de façon asynchrone. Pour obtenir un système synchrone, on monte en cascade deux circuits 74LS164.

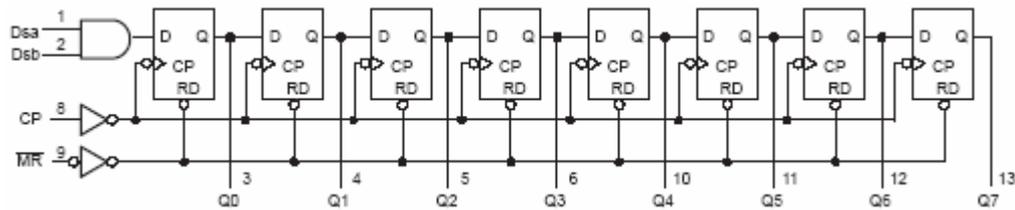


Figure II-2- 28: Diagramme logique

Les caractéristiques électriques du circuit intégré sont données en annexe VIII.

5.7. Le circuit MAX 232 :

Comme la liaison série exploite des signaux en +/- 12V en transmission, on utilise le plus souvent le circuit MAX 232 pour effectuer la translation des niveaux de la logique (0/ +5V) vers la transmission +/- 12V.

Ce circuit a été fabriqué par **Texas Instruments** et on peut voir ses caractéristiques électriques en annexe IX.

Chap.
3

Conception De L'Interface Graphique d'Acquisition et Mode D'Acquisition sous Matlab 5.3

Dans ce chapitre, les signaux seront envoyés vers la carte son de l'ordinateur. Comme la carte ne peut supporter que des signaux alternatifs d'amplitude inférieure à $-1/1V$, on doit disposer à la sortie du multiplexeur CD 4051 un montage inverseur de gain inférieur à 1 pour atténuer les tensions de valeur efficace $11,8V$ (tension ligne d'un synchro) en $0,707V$, et d'un pont diviseur à l'entrée du pin 13 pour atténuer la tension $26V$ $400Hz$ en $10V$ $400Hz$.

Les signaux possibles à afficher sont donc :

- 1J2-17/18/19, O-2
- G-A/B/C, G-D
- A/A-22/23/24, A/A-13/14/15,
- e/f/g, a/b/Z, B/E/G, C, B/H/F, D dans le cas du teste du R.M.I.

Calcul des résistances R_1 et R_2 du montage inverseur :

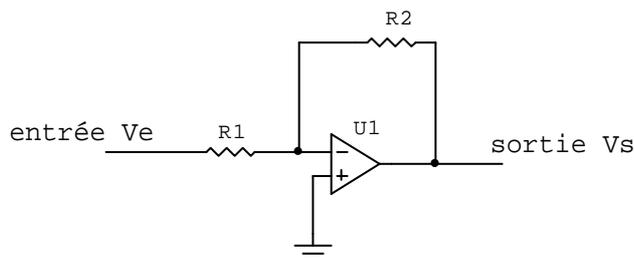


Figure II-3- 1: Montage inverseur

Le gain du montage est : $A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$ il faut que ce gain soit inférieur à 1, d'où, en

choisissant $R_1 = 10k\Omega$, on obtient $R_2 = 600\Omega$.

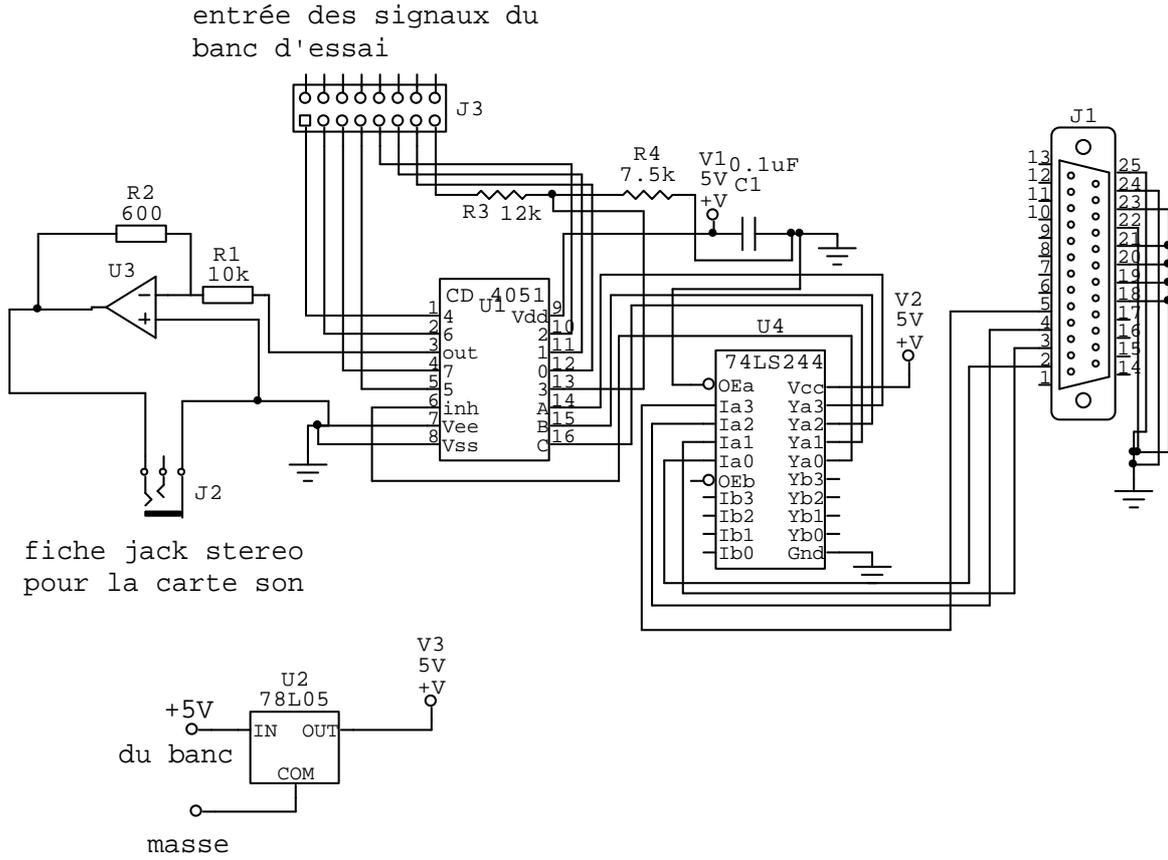


Figure II-3- 2: Interface avant la carte son

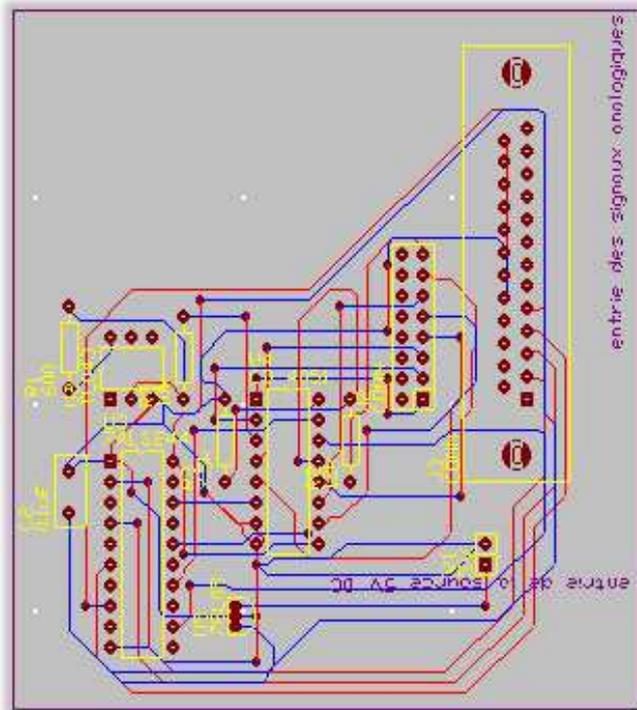


Figure II-3- 3: Routage de la carte pré-carte son

1. Le port parallèle :

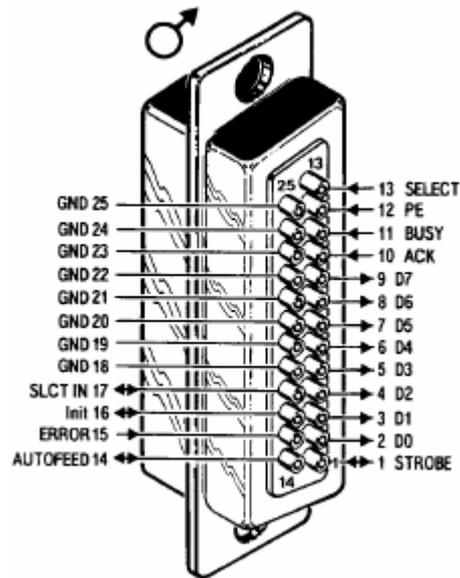


Figure II-3- 4: Port parallèle

Le port parallèle (LPT1 ou LPT2) de l'ordinateur, généralement occupé par l'imprimante, offre 17 lignes numériques utilisables pour l'échange rapide des données avec des circuits d'interface. A la différence des ports sériels, les ports parallèles sont particulièrement fragiles et il est facile de les détruire. Les entrées et sorties des ports parallèles, compatibles TTL, ne sont pas protégées contre les surcharges. Les entrées des ports ne supportent que des tensions comprises entre 0V et 5V.

1.1. Description des signaux du port :

L'affectation des broches se présente comme suit :

Broche	Nom	Sens de transmission
1	<u>/STROBE</u>	Entrée-Sortie
2	<u>D0</u>	Entrée-Sortie*
3	<u>D1</u>	Entrée-Sortie*
4	<u>D2</u>	Entrée-Sortie*
5	<u>D3</u>	Entrée-Sortie*
6	<u>D4</u>	Entrée-Sortie*
7	<u>D5</u>	Entrée-Sortie*
8	<u>D6</u>	Entrée-Sortie*
9	<u>D7</u>	Entrée-Sortie*
10	<u>/ACK</u>	Entrée
11	<u>BUSY</u>	Entrée
12	<u>PE</u>	Entrée
13	<u>SELECT</u>	Entrée
14	<u>/AUTOFEED</u>	Entrée-Sortie
15	<u>/ERROR</u>	Entrée
16	<u>/INIT</u>	Entrée-Sortie
17	<u>/SELECT IN</u>	Entrée-Sortie
18-25	MASSE	-

Tableau II-3- 1: Broche d'un port parallèle

*Bidirectionnel dans le cas d'un port EPP

Lignes de données (378h)

Etat de l'imprimante (379h)

Commande de l'imprimante (37 Ah)

- ★ **STROBE** : cette ligne active basse indique à l'imprimante que des données sont présentes sur les lignes D0 à D7 et qu'il faut les prendre en compte.
- ★ **D0 à D7** : c'est le bus de données sur lequel véhicule la valeur du caractère à imprimer.
- ★ **ACK** : l'imprimante met à 0 cette ligne pour indiquer à l'ordinateur qu'elle a bien reçu le caractère transmis et que ce dernier peut continuer la transmission.
- ★ **BUSY** : cette ligne est mise à 0 par l'imprimante lorsque son buffer de réception est plein. L'ordinateur est ainsi averti que celle-ci ne peut plus recevoir des données. Il doit attendre que cette ligne revienne à 1 pour recommencer à émettre.

- ★ **PE** : signifie "Paper error". L'imprimante indique par cette ligne à l'ordinateur que l'alimentation en papier a été interrompue.
- ★ **SELECT** : cette ligne indique à l'ordinateur si l'imprimante est "on line" ou "off line".
- ★ **AUTOFEED** : lorsque ce signal est à 1, l'imprimante doit effectuer un saut de ligne à chaque caractère "return" reçu.
- ★ **ERROR** : indique à l'ordinateur que l'imprimante a détecté une erreur.
- ★ **INIT** : l'ordinateur peut effectuer une initialisation de l'imprimante par l'intermédiaire de cette ligne.
- ★ **SELECT IN** : l'ordinateur peut mettre l'imprimante hors ligne par l'intermédiaire de cette ligne.
- ★ **MASSE** : c'est la masse du PC.

1.2. *Performance :*

Le port est utilisé pour le transfert des données sur une courte distance (2m maximum). La vitesse de transmission maximale que l'on peut espérer obtenir est de l'ordre de 150ko/s. Les ports plus récents, de type EPP (pour Enhanced Parallel Port), permettent d'atteindre un débit de 2Mo/s soit un débit treize fois supérieur. En plus du débit supérieur, les ports EPP sont bidirectionnels. Encore plus récent, le port ECP (Extended Capacity Port) possède la particularité d'être Plug and Play. Il dérive du port EPP et en possède les mêmes caractéristiques. Sa particularité est qu'il permet au périphérique branché sur celui-ci de s'identifier à la machine dès le démarrage. Ainsi l'imprimante peut s'autoconfigurer lors du lancement du système d'exploitation.

1.3. *Utilisation :*

Le port est piloté par 3 registres :

Registre de données (décalage = 0)

7	6	5	4	3	2	1	0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	0

Adresse : LPT1 = 378 h et LPT2 = 278 h

Registre d'état (décalage = 1)

7	6	5	4	3	2	1	0
/BUSY	/ACK	PE	SELECT	/ERROR	-	-	-

Adresse : LPT1 = 379 h et LPT2 = 279 h. Ce registre est accessible uniquement en lecture.

Registre de commande (décalage = 2)

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	IRQ enable	/Select In	/Init	/autofeed	/strobe

Adresse : LPT1 = 37 Ah et LPT2 = 27 Ah

Ce registre est accessible à la fois en lecture et en écriture. Le bit 4 autorise ou non le déclenchement d'une interruption lorsque ACK passe à l'état bas.

Un port de sortie de 8 bits est associé au registre de données. Les sorties sont compatibles TTL, ce qui veut dire que leur niveau haut correspond à des tensions comprises entre 3,5V et 5V et qu'elles ne supportent pas des charges supérieures à 10mA.

Pour envoyer des données sur le port parallèle vers la carte, on doit :

- ★ écrire les données sur le bus de données,
- ★ Mettre le pin 1 (Strobe) en niveau bas.
- ★ Mettre Strobe en niveau haut, après avoir attendu approximativement 5 μ s.

1.4. Programmation :

1.4.1. **Programmation du port parallèle** :

On va créer un MEX-File nommé *porparallem* pour écrire sur le port parallèle avec Matlab 5.3.

La fonction utilisée en C pour écrire sur le port est : **outportb** se trouvant dans la librairie **dos.h**. Les arguments de cette fonction sont : l'adresse du port à écrire, soit 378H ; et les données à envoyer. Voici le code à compiler sur Matlab pour créer notre MEX-File.

```
#define outputaddress 0x378
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <math.h>
#include "mex.h"

void porparallem ( int portbit)

{
```

```
    outportb(outputaddress, portbit);/*mettre à 1 D0 à D7*/

    return 0;
}

void mexFunction (int nlhs, mxArray *plhs[],
                  int nrhs, const mxArray *prhs[])
{
    int portbit, mrows, ncols;

    if (nrhs !=1){
        mexErrMsgTxt("One input required.");
    } else if (nlhs >1) {
        mexErrMsgTxt("Too many output arguments");
    }
    ncols = mxGetN(prhs[0]);
    if( !mxIsDouble(prhs[0]) || mxIsComplex(prhs[0]) ||
        !(mrows==1 && ncols==1) ) {
        mexErrMsgTxt("Input must be a noncomplex scalar double.");
    }
    plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(mrows,ncols, mxREAL);
    portbit = mxGetPr(prhs[0]);

    porparallel (portbit);
}
```

Ce programme doit être enregistré dans un dossier de Matlab pour faciliter la compilation. Dans notre cas, on a choisi: "MATLABR11\extern\examples\mex".

Après avoir configuré le compilateur²⁰ à utiliser, il faut taper dans l'espace de travail de Matlab les codes suivants :

```
cd ([Matlabroot '\extern\examples\mex'])
mex porparallel.c
```

²⁰ La configuration du compilateur se passe en tapant `mex -setup`.

On peut maintenant employer la fonction *porparallel* comme s'il s'agissait d'une fonction créée sous Matlab : un "M-File".

1.4.2. Programmation pour l'acquisition des données sous Matlab :

Matlab possède un outil : "Data acquisition" incluant plusieurs fichiers M-Files et DLLs pour lui permettre d'acquérir des données par la carte son. Cet outil comprend trois grandes fonctions composantes :

- **M-Files** avec lesquelles on crée les objets et contrôle le comportement de l'acquisition.
- **"engine"** dans lesquelles les objets et leurs propriétés sont enregistrés ; ces fonctions ont une relation avec l'espace disque de l'ordinateur.
- **"adaptors"** qui relie la carte son et les fonctions "engine" pour la transmission des données.

Les étapes à suivre pour une acquisition des données sur Matlab sont décrites en annexe X. Deux fonctions différentes peuvent être utilisées avec Matlab pour collecter les données venant de la carte son : *peekdata* et *getdata*. Avec *peekdata*, les données sont acquises directement de la carte son et retournées directement vers l'espace de travail de Matlab pendant le processus d'acquisition. Quelques échantillons risquent donc de disparaître. Associée avec la fonction *drawnow*, *peekdata* permet d'obtenir une visualisation dynamique des données acquises.

Tandis que *getdata* est utilisé pour extraire les données enregistrées dans l'espace disque après que le processus d'acquisition soit terminé. On peut ainsi travailler avec ces dernières, par exemple, filtrer les données ou bien appliquer une transformation de Fourier.

Conversion d'unités :

Puisqu'on a utilisé un amplificateur inverseur de gain inférieur à 1 pour diminuer la tension à l'entrée de la carte son, la tension affichée sur l'écran ne représentera donc pas la vraie valeur de la tension à la sortie du banc. L'outil "Data acquisition" nous fournit une méthode pour convertir les signaux à l'entrée de la carte par leur vraie valeur. Cette méthode de conversion inclut quatre propriétés à définir lors de la programmation.

Propriétés	Description
SensorRange	Les valeurs de tension à la sortie du fiche jack
InputRange	Les valeurs à la sortie du C.A.N.
Units	Nom de l'unité
UnitsRange	Les valeurs à afficher

Tableau II-3- 2: Description des propriétés à considérer

La propriété *InputRange* est proportionnelle avec le gain et la polarité du C.A.N. Le schéma de principe est décrit par la figure suivante dans le cas de tension à la sortie d'un synchro :

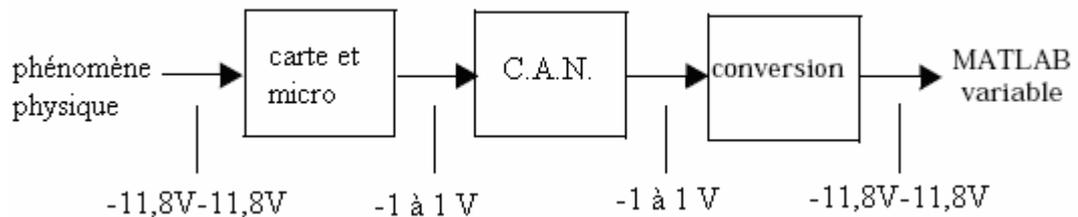


Figure II-3- 5: Conversion d'unité

Lignes de programmes pour l'acquisition des données :

```

ai = analoginput(adaptor, id);
addchannel(ai, chan);

%configuration de ai
set(ai, 'SampleRate', 44100);

%Conversion des unités
set(ai.channel, 'SensorRange', [-1 1]);
set(ai.channel, 'InputRange', [-1 1]);
set(ai.channel, 'UnitsRange', [-11.8 11.8]);
set(ai.channel, 'Units', 'V');

%Configuration de callback pour une visualisation dynamique
set(ai, 'TimerAction', {'acquisition00', 'showdata'});
set(ai, 'TimerPeriod', 0.1);

%trigger manual
set(ai, 'SamplesPerTrigger', 1024);
set(ai, 'TriggerRepeat', 1);
set(ai, 'TriggerType', 'manual');

%Start ai
start(ai);
trigger(ai);

%Collecte des données
[d,time] = getdata(ai, ai.SamplesPerTrigger);
  
```

Filtrage numérique des données :

Le filtre numérique intervient une fois que le signal est échantillonné et numérisé, c'est une combinaison linéaire d'échantillons. La réalisation d'un filtre numérique passe par la

connaissance de la fonction de transfert $H(p)$ du filtre qu'on va transformer en Z pour obtenir une équation de récurrence exploitable dans un algorithme. Il existe trois techniques de filtrage numérique :

- Filtrage non récursif
- Filtrage récursif
- Filtrage par produit de Transformée de Fourier Discrète

L'opération mathématique employée en filtrage numérique est la *convolution* (formule 3-1). Le filtrage non récursif a une réponse impulsionnelle finie et la sortie ne dépend que du signal d'entrée. Tandis que le filtrage récursif possède une réponse impulsionnelle infinie et la sortie dépend de l'entrée et de la valeur précédente de la sortie. Le filtrage par produit de Transformée de Fourier Discrète réalise des convolutions de deux signaux de taille n échantillons avec un coût de calcul de $2n \log n$ au lieu de n^2 , rendant ainsi cette technique plus avantageuse.

$$y(n) = h(n) * x(n) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} h(n-m).x(m) \quad (3-1)$$

La transformée en Z de cette équation est :

$$Y(z) = H(z).X(z) = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(nb+1)z^{-nb}}{a(1) + b(2)z^{-1} + \dots + a(na+1)z^{-na}} X(z) \quad (3-2)$$

L'ordre du filtre est donné par le maximum de na et nb . La fonction appelée pour filtrer des séquences de données en Matlab est *filter*. Cette fonction a besoin de trois arguments : le premier est le numérateur de la fonction de transfert $H(z)$, le second son dénominateur et le troisième représente les données à filtrer. De plus, Matlab possède une fonction pour le filtre numérique de Butterworth : *Butter(n, Wn)* où n représente l'ordre du filtre et

$$W_n = \frac{1}{\Omega_b} = \frac{f_p}{f_b} ; \text{ dans notre cas donc, } n = 4 \text{ et } W_n = 0,25. \text{ La ligne de programme est donc}$$

comme suit :

```
[b,a] = butter(4,0.25)
d = filter(b,a,d);
```

2. Le logiciel "acquisitoool" :

La page d'accueil de notre logiciel écrit en Matlab 5.3 se présente comme suit :



Figure II-3- 6: Accueil du logiciel “acquisitoool”

En cliquant sur le bouton “Next“, on obtient la liste des tests possibles sur le banc :

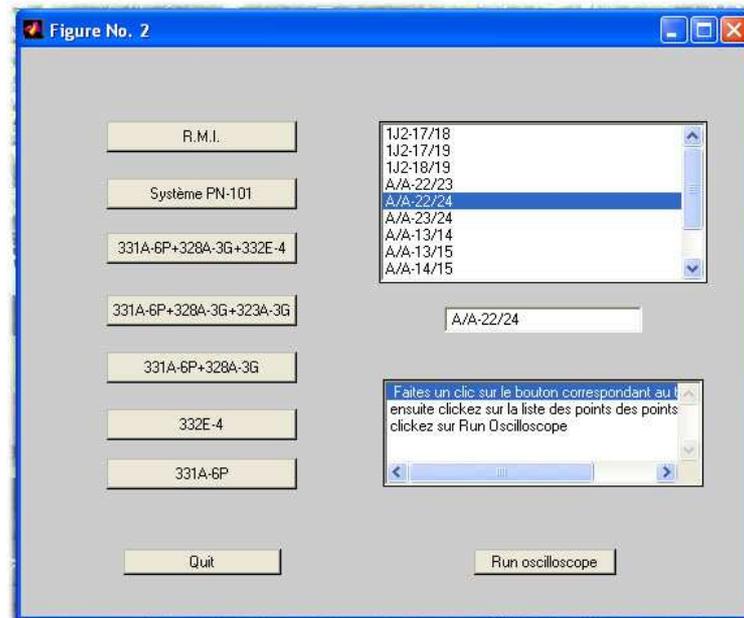


Figure II-3- 7: Liste des tests

On choisit le point de test sur la liste et on fait un clic sur “Run Oscilloscope” pour afficher l'oscilloscope virtuel pour la visualisation des signaux :

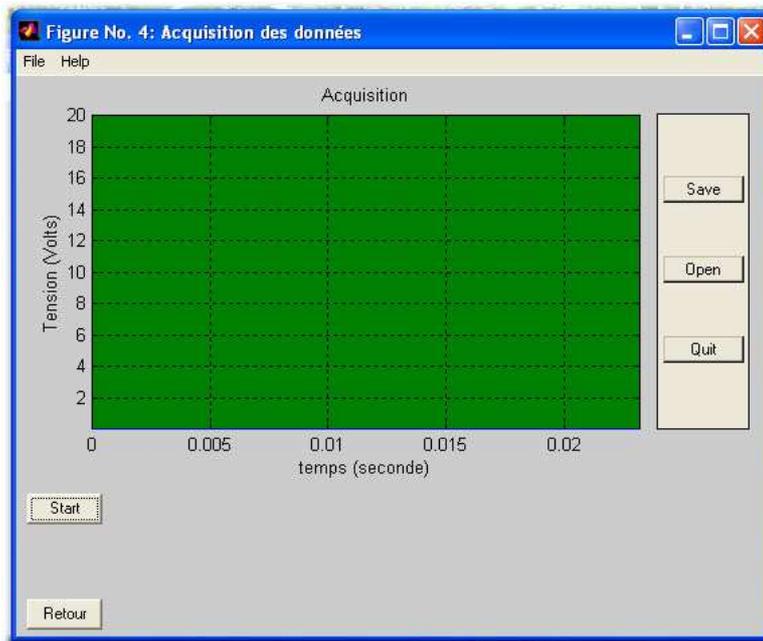


Figure II-3- 8 : Oscilloscope virtuel

3. Application et étude d'impacts environnementaux :

Comme on a utilisé un pont diviseur, les allures des tensions affichées n'auront pas les mêmes amplitudes que dans la réalité, de plus on doit appliquer un filtrage numérique. On a donc :

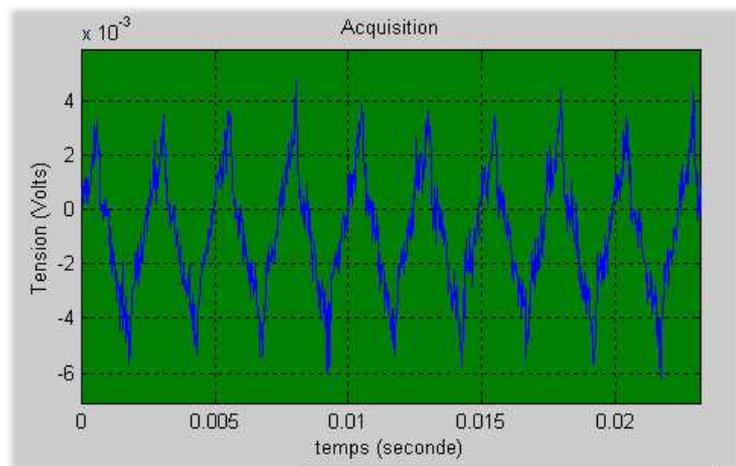


Figure II-3- 9 : Allure de la tension sans filtre

Après filtrage et mise à l'échelle réelle, l'allure de la même tension sera :

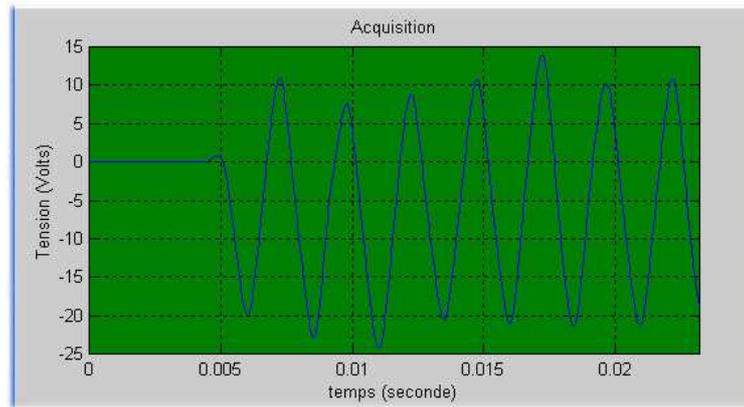


Figure II-3-10 : Allure de la tension

On a une valeur de tension approximativement égale à 11V qui correspond à la position du synchro de 270°, la période de la tension est de 400Hz.

3.1. Comparaison des deux techniques :

Voici une comparaison approximative (puisque certaines pièces n'existent pas encore sur le marché malgache) des techniques d'acquisition proposées. Le critère de comparaison des coûts et de la réalisation est basé sur le nombre de pièces à acheter pour réaliser la carte ; tandis que pour celui de la performance, il est basé sur l'utilisation ou non d'un pont diviseur de tension, en effet le fait de réduire la tension à afficher rendra plus difficile la lecture des tensions de valeurs originales plus petites, c'est le cas par exemple du synchro positionné sur un certain angle.

	Avec le port série	Avec la carte son
Prix	Plus cher	Moins cher
Efficacité	Plus performant	Moins performant
Réalisation	Difficile	Facile

Tableau II-3-3: Comparaison des 2 techniques

3.2. Etude d'impacts environnementaux :

D'après la loi n°90 033 relative à la charte de l'environnement malgache, article n°2 qui stipule : "on entend par environnement l'ensemble des milieux naturels et artificiels y compris les milieux humains et les facteurs sociaux et culturels qui intéressent le développement humain", on peut donc dire que, dans notre sujet, l'environnement est axé sur l'environnement humain, économique et l'ambiance de travail.

L'environnement humain concerne la sécurité des passagers pendant les heures de vol ainsi que la sécurité des personnels lors de l'utilisation du banc. En effet, suivant les lois internationales et nationales, la sécurité des personnes et des biens, en plein vol, doit être une

priorité, aussi il faut que les matériels de bord, les appareils de commande, les moteurs, liés directement ou indirectement à l'avion, doivent faire l'objet d'une maintenance très stricte et d'un suivi régulier. Depuis l'histoire de l'aviation malgache cependant, aucun accident survenu suite aux défaillances des compas directionnels n'a été recensé, car si le cas se présente, les pilotes ont à leur disposition un compas magnétique ne fonctionnant pas à l'électricité et qui fournit une indication assez précise des directions de vol. Cependant, les recherches au niveau des indicateurs directionnels ne cessent de s'améliorer, aussi il faut prendre des veilles technologies, bien comprendre leur application et avoir les technologies nécessaires pour leur dépannage éventuel et révision.

Comme le banc d'essai pour PN-101 est alimenté électriquement, il faut donc penser à la sécurité des personnels contre les effets du courant sur le corps humain.

Le système de navigation PN-101 est un ensemble d'appareils qui coûte cher. De plus, le coût de la maintenance des équipements sera très élevé si des problèmes doivent être résolus à l'étranger.

Il faut également penser aux effets psychologiques subits par les techniciens si des pannes seront très difficiles à résoudre. Leur humeur influencera l'ambiance de travail.

3.2.1. **Source des impacts :**

Concernant le banc d'essai, il est alimenté par du courant électrique qui peut être continu ou alternatif selon l'utilisation du banc. C'est le courant alternatif qui est le plus dangereux pour le corps humain. Le mauvais entretien des instruments de bord peut nuire à la sécurité des passagers ainsi causera des pertes humaines et matériels considérables. Plusieurs problèmes peuvent être résolus très vite si les techniciens sauront comment exploiter à fond le banc d'essai pour PN-101.

3.2.2. **Analyse des impacts :**

Les impacts environnementaux sont multiples, ils peuvent être bénéfiques pour l'homme et néfastes si des mesures ne seront pas prises. Parmi les impacts positifs, on peut citer l'amélioration des travaux des techniciens ; l'amélioration des conditions de travail des pilotes et surtout la sécurité des personnes. Parmi les impacts négatifs, on peut citer les stress que subissent les techniciens devant un problème presque irrésoluble, la sécurité des passagers menacée, les dangers du courant électrique contre le corps humain, les pertes économiques importantes dues aux défaillances techniques.

Notre sujet est axé sur l'exploitation du banc d'essai : comprendre son fonctionnement et donner des nouvelles améliorations pour que les techniciens de la compagnie puissent l'utiliser

facilement. De plus, il permettra aux pilotes de mieux travailler puisqu'ils auront de meilleurs instruments qui les aideront à mieux diriger l'avion et amener ainsi les passagers à bon "port".

Le passage du courant électrique à travers le corps humain créera des effets physiopathologiques appelés chocs électriques. Voici les facteurs pouvant influencer les effets du courant électrique :

a. L'intensité du courant

Plus l'intensité du courant est élevée plus les effets de passage du courant seront dangereux. Le tableau ci-dessous montre cette relation.

Courant	Effet
Moins de 0.5mA	Aucune sensation
0.5-10mA	Sensation très faible
10-30mA	Tétanisation des muscles (peut accrocher la victime)
30-75mA	Seuil de fibrillation respiratoire (peut être irréversible)
75-100mA	Seuil de fibrillation cardiaque (désordre du rythme cardiaque, peut être irréversible)

Tableau II-3- 4: Effet physiologique du courant de fréquence industrielle

Or, notre banc est alimenté sous une tension de 28V en courant continu de 4A ou 115V en courant alternatif de 1A, il peut donc causer des accidents aux personnels s'ils ne sont pas protégés.

b. Résistance du corps humain, résistance de la peau, résistance de contact, isolation du corps

L'ordre de grandeur de la résistance du corps humain est de 1000Ω . Plus la résistance du corps, de la peau, de contact est élevée et le corps bien isolé, moins la personne subira les effets du courants.

c. Nature du courant électrique :

Le plus dangereux est le courant électrique.

d. Le chemin de passage du courant

C'est celui qui passe par le cœur est dangereux.

Les actions directes du courant peuvent être divisées en deux :

1^{ère} famille : électrocution due à un état prolongé de fibrillation. Ce sont des accidents dus à un courant sous basse tension, de faible intensité et traversant le corps pendant un temps assez court.

2^{ème} famille : électrocution due à des brûlures internes ou externes provoquées par un courant électrique d'intensité suffisante pendant un temps assez long.

La première famille peut se produire par contact soit entre conducteurs, soit entre conducteur et terre, avec ou sans interposition de la masse métallique de l'appareil. Si une personne touche directement un conducteur actif sous tension, on est en présence d'une électrocution par contact direct. Cependant, si elle touche des masses mises accidentellement sous tension, on est en présence d'une électrocution par contact indirect.

3.2.3. **Solutions** :

Multiplés solutions sont à la disposition des ingénieurs et techniciens pour respecter l'environnement.

1. Environnement humain :

La sécurité des passagers pendant les heures de vol peut être améliorée par l'utilisation d'une maintenance très stricte : systématique ou conditionnelle, corrective. Dans ce dernier cas il faut à la disposition des matériels très efficaces et performants. Notons que l'Air Madagascar confie aux constructeurs des appareils et instruments les maintenances dont elle n'a pas la possibilité d'effectuer. Ceci pour garantir la fiabilité des instruments.

La sécurité des personnels contre le danger du courant électrique peut être surmontée en utilisant plusieurs procédés. Voici quelques mesures pratiques de protection :

Protection contre les contacts directs :

La totalité du courant de fuite passe par le corps humain. La protection peut être assurée par :

- La mise hors de portée des conducteurs et des pièces conductrices par isolation des conducteurs, éloignement ou interposition d'écran isolants fixes ou mobiles. Cette solution constitue la solution sans coupure de courant. Dans le cas avec coupure d'alimentation, on peut utiliser des disjoncteurs, des DDRHS ou Dispositif Différentiel Résiduel Haute Sensibilité, des fusibles, des sectionneurs.
- L'utilisation de la TBTS (Très Basse Tension de Sécurité) qui rend le contact non dangereux. La TBTS est une des règles exigées par la loi française selon l'arrêté n° 80-1056 du 14 Novembre 1988 et la circulaire DRT 89-2 du 6 Février 1989.

Protections contre les contacts indirects :

Seul une partie du courant de fuite traverse le corps humain, les principes seront les mêmes en courant continu qu'en courant alternatif. La protection est inspirée de la norme C 15-100 qui distingue :

- Les mesures passives sans coupure de courant : double isolation avec vérification périodique, TBTS, séparation

- Les mesures actives avec coupure de courant : disjoncteurs.

Les installations doivent aussi faire l'objet d'amélioration. La norme française NF C 15-100 fixe les règles pour que soient assurées la sécurité des personnes, la conservation du matériel, la succession des causes de troubles sur les réseaux de distribution. On peut distinguer pour la sécurité des personnes :

- la subdivision des installations pour faciliter la recherche des défauts, les modifications et l'entretien ;

- l'indépendance des canalisations pour éviter de faire coexister dans une même gaine d'autres canalisations ;

- l'accessibilité des installations pour permettre des interventions faciles ;

- le conducteur neutre doit être de couleur bleu clair ;

- le conducteur de protection doit être identifié par la double coloration vert et jaune soit par une coloration continue, soit par baguage.

On peut également distinguer le cas de contact des masses mises accidentellement sous tension. En cas d'accidents, il faut assurer la protection par :

- une mesure **PASSIVE**, comme l'emploi de la TBTS, du matériel à double isolation, ou la mise en place, lors de l'installation, d'une isolation supplémentaire des masses ;

- une mesure **ACTIVE**, constituée par une mise à la terre des masses correspondant à un dispositif de coupure automatique.

Le banc d'essai contient des isolations électriques, et des mises à la masse pour protéger les personnels.

2. *Environnement de travail :*

Les problèmes psychologiques et de stress des mécaniciens peuvent être résolus soit en améliorant les capacités du banc d'essai, soit en renforçant les connaissances des techniciens par des formations, soit en consultant des psychologues. Ces trois solutions peuvent être effectuées ensemble ou séparément. La deuxième solution est déjà réalisée par la compagnie, en effet leurs personnels suivent de temps en temps des formations à l'extérieur.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

Voler fait partie des vieux rêves les plus fous de l'homme, plusieurs pionniers se sont succédés au fil du temps pour aboutir à l'aéronef de notre ère. La manœuvre de cette machine gigantesque s'est rendue de plus en plus facile grâce à l'évolution de la technologie et surtout à la réunion des techniques mécaniques et électriques voire électroniques.

La maintenance de ces appareils et équipements se sont beaucoup améliorer avec le temps également. En effet, on est passé des instruments de mesure analogiques aux instruments digitaux et même jusqu'aux instruments numériques. Dans ce travail, on a pu assister à l'utilisation des ordinateurs comme oscilloscope virtuel pour faciliter l'enregistrement des résultats, minimiser les erreurs de lecture. La mise en œuvre de cet oscilloscope nécessite néanmoins la connaissance préalable des valeurs des tensions à afficher et par conséquent, la connaissance du fonctionnement du système de navigation PN-101 dans le cas de notre travail.

On peut dire que le fait de traiter ce sujet de mémoire nous a permis de connaître un tout petit peu sur le monde de l'aéronautique, surtout sur l'application de certains cours proposés à l'école, à savoir l'électronique, la mécanique, les asservissements et bien d'autres dans le domaine de l'aviation.

Face à la mondialisation, la collaboration entre la Compagnie Air Madagascar et les universités, comme l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, sera une des solutions pour que la Compagnie sera plus compétitive. On ne peut qu'espérer que cette collaboration continuera pour aboutir à de meilleurs résultats surtout en terme d'échanges de savoir et de compétences.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

I. **Bibliographie** :

- [1] Collins Radio France Paris, “Banc d’essai PN101“
- [2] Collins general aviation group, “instruction book Collins PN-101 Pictorial Navigation System”, 5th edition, 1 Nov 1969, 9th Revision, 30 May 1986.
- [3] Collins general aviation group, “Overhaul manual Collins 331A-6P/6R course indicator”, 7th Revision 15 Nov 1981.
- [4] Collins general aviation group, “instruction book 332C-4 Radio Magnetic Indicator”, 1st edition 1 April 1968.
- [5] ANDRIANASOA Tojotahiana et RANDRESIARIVELINA Tianjanahary, “Etude et maintenance du système de navigation PN-101 des avions“, Mémoire de fin d’étude pour l’obtention du diplôme de Technicien Supérieur en Génie Industriel de l’Institut Supérieur Polytechnique de Madagascar, Décembre 2005.
- [6] Y. RIBES, “Équipement de bord“, Tome 1, 1^{ère} édition ,1978.
- [7] Air France, M. CHEVALIER, “transmissions électriques à distance“, 4^{ème} édition, janv. 1967.
- [8] Sabena, “Dispositifs gyroscopiques compas“, n° DV/GN/89.
- [9] S. TARG, “éléments de mécanique rationnelle“, page 429 à 434, 2^{ème} édition 1975.
- [10] R.J. TOCCI, “Circuits numériques : théories et applications“.
- [11] magazine, “Electronique pratique“, n°293, Avril 2005, n°282, Avril 2004.
- [12] décret MECIE.

II. **Webographie** :

- [1] www.alldatasheet.com/,
- [2] http://users.minet.co/tcumming/public_html.renamed/Electronics/circuits/
- [3] <http://datadynamics.co.ip/data/inteinst/>.
- [4] <http://CommentCaMarche.net/>
- [5] <http://ybet.com/>
- [6] <http://www.beyondlogic.org/spp/>
- [7] <http://redrok.com/electron.htm#led3>
- [8] www.vieartificielle.com/article/
- [9] <http://www.senet.com.au/~cpeacock>
- [10] http://aviatechno.free.fr/trans/trans_cont.php

ANNEXES

ANNEXE I

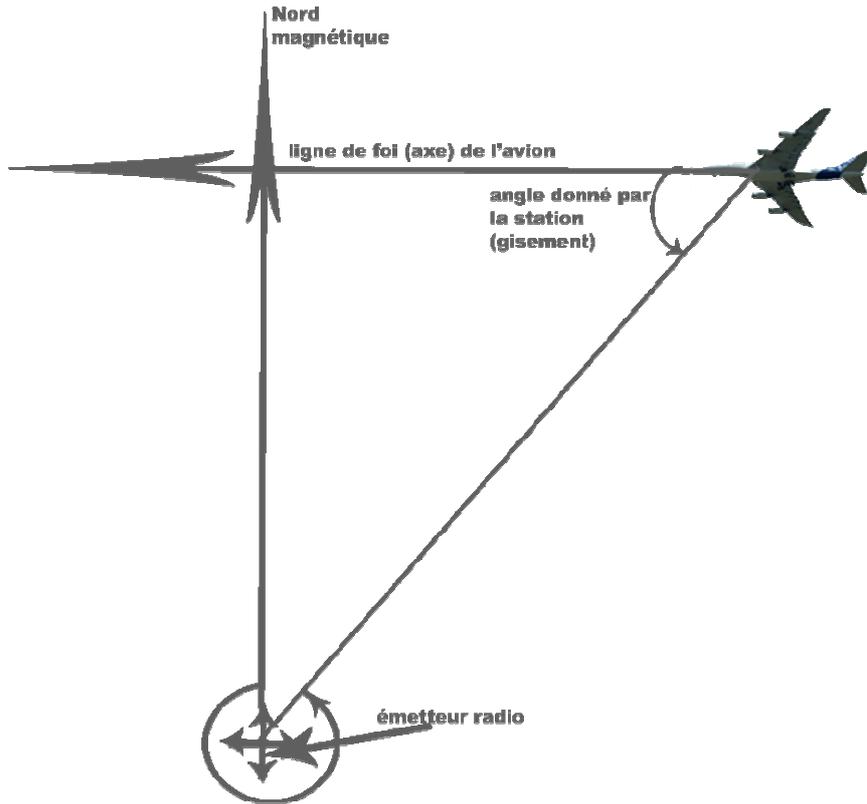


Figure 1: Station V.O.R.

Le signal radio, de bande de fréquence de 108 à 118MHz, émis par un émetteur au sol appelé V.O.R. est capté par une antenne de l'avion. L'information délivrée au pilote est présentée par l'aiguille du R.M.I. indiquant le cap à suivre pour se diriger (ou s'éloigner, selon la sélection) vers cette station.

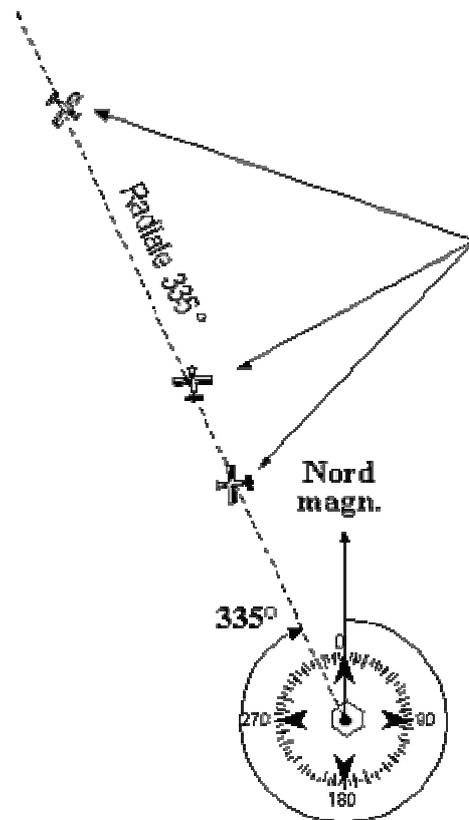
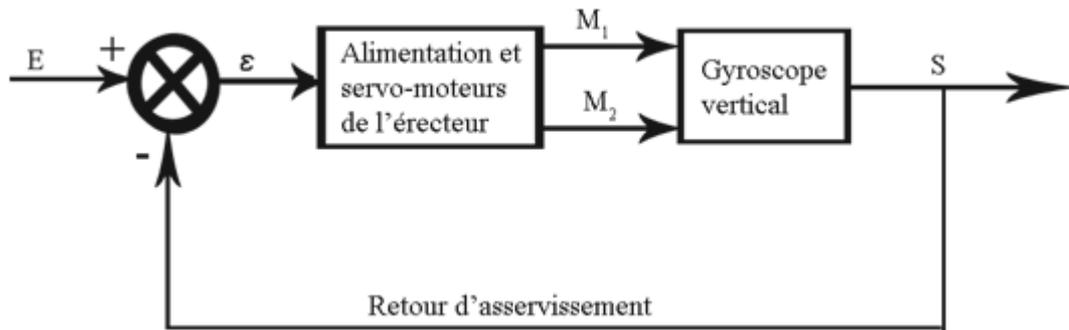


Figure 2 : radial fournit par une station V.O.R.

Exemple d'asservissement dans l'aéronautique :*L'horizon artificiel :*Figure 1: horizon artificiel

L'horizon artificiel fournit la position de l'avion par rapport à la verticale. On utilise pour cela un gyroscope vertical.

L'entrée E est donnée par une référence pendulaire, tandis que la sortie S par la référence gyroscopique. Le système érecteur joue le rôle de contrôleur, il fournit deux couples de force M_1 et M_2 qui sont appliqués, suivant deux axes, à la toupie du gyroscope pour la faire précessionner jusqu'à ce qu'elle s'aligne avec le pendule ($\varepsilon \rightarrow 0$).

ANNEXE III

L'allure de la f.e.m. dépend de celle de $\frac{d\mu}{dt}$ qui représente la valeur de la tangente à la courbe $\mu(t)$.

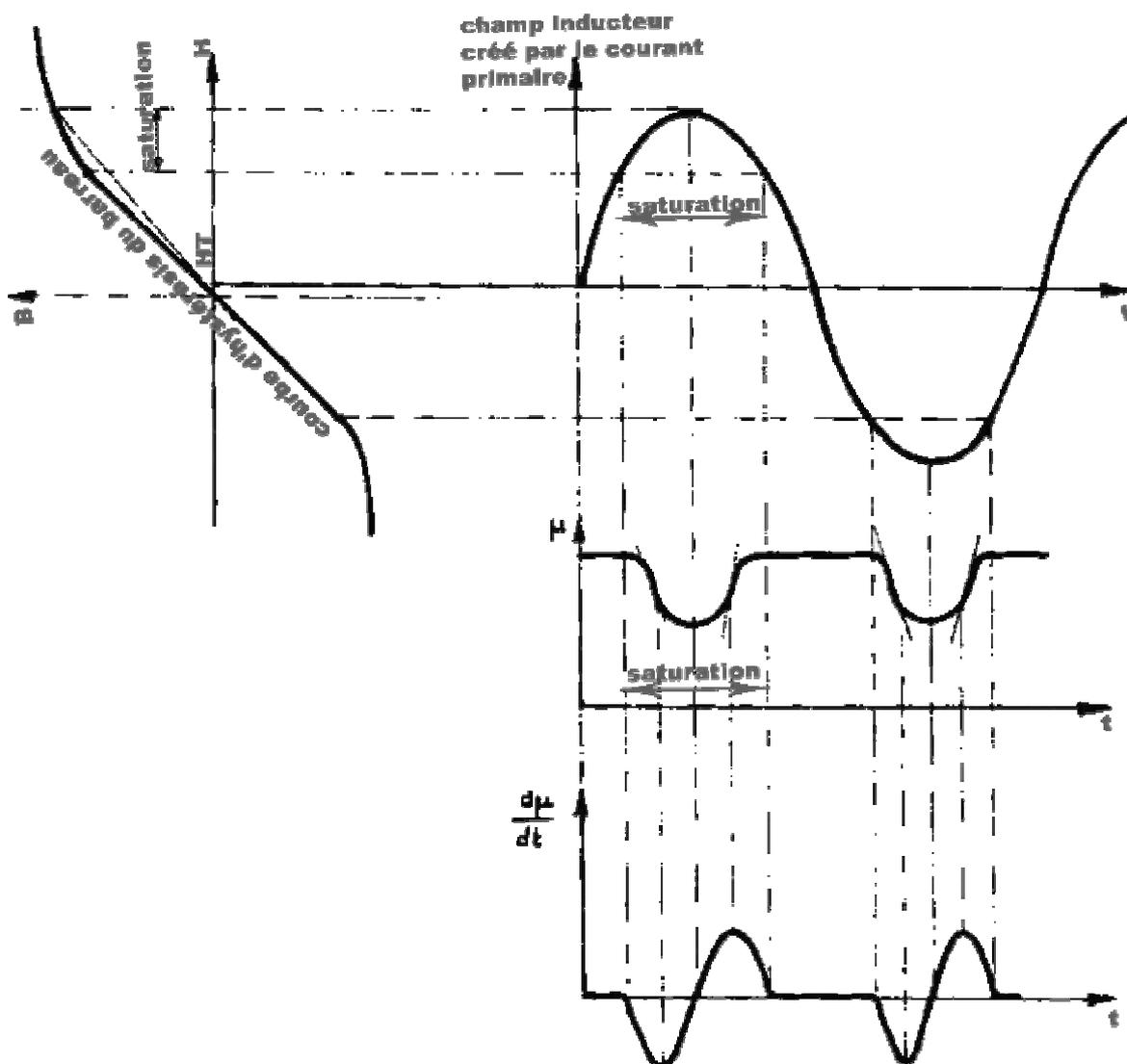
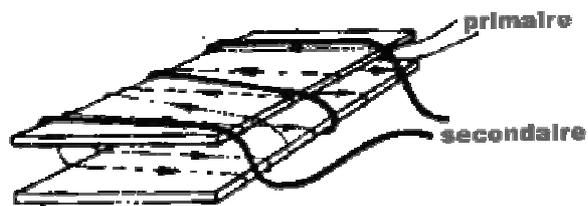


Figure 1 : Allure de la f.e.m.

ANNEXE IV

Parameter	Conditions	LF398			Units
		Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage, (Note 5)	$T_j = 25^\circ\text{C}$		2	7	mV
	Full Temperature Range			10	mV
Input Bias Current, (Note 5)	$T_j = 25^\circ\text{C}$		10	50	nA
	Full Temperature Range			100	nA
Input Impedance	$T_j = 25^\circ\text{C}$		10^{10}		Ω
Gain Error	$T_j = 25^\circ\text{C}, R_L = 10\text{k}$		0.004	0.01	%
	Full Temperature Range			0.02	%
Feedthrough Attenuation Ratio at 1 kHz	$T_j = 25^\circ\text{C}, C_h = 0.01 \mu\text{F}$	80	90		dB
Output Impedance	$T_j = 25^\circ\text{C}$, "HOLD" mode		0.5	4	Ω
	Full Temperature Range			6	Ω
"HOLD" Step, (Note 6)	$T_j = 25^\circ\text{C}, C_h = 0.01 \mu\text{F}, V_{\text{OUT}} = 0$		1.0	2.5	mV
Supply Current, (Note 5)	$T_j \geq 25^\circ\text{C}$		4.5	6.5	mA
Logic and Logic Reference Input Current	$T_j = 25^\circ\text{C}$		2	10	μA
Leakage Current into Hold Capacitor (Note 5)	$T_j = 25^\circ\text{C}$, (Note 7) Hold Mode		30	200	pA
Acquisition Time to 0.1%	$\Delta V_{\text{OUT}} = 10\text{V}, C_h = 1000 \text{ pF}$ $C_h = 0.01 \mu\text{F}$		4		μs
			20		μs
Hold Capacitor Charging Current	$V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 2\text{V}$		5		mA
Supply Voltage Rejection Ratio	$V_{\text{OUT}} = 0$	80	110		dB
Differential Logic Threshold	$T_j = 25^\circ\text{C}$	0.8	1.4	2.4	V
Input Offset Voltage, (Note 5)	$T_j = 25^\circ\text{C}$		2	2	mV
	Full Temperature Range			3	mV
Input Bias Current, (Note 5)	$T_j = 25^\circ\text{C}$		10	25	nA
	Full Temperature Range			50	nA

Tableau 1 : Caractéristiques électriques du LF398

Note 5 : ces paramètres sont garantis pour une source de tension variant de $\pm 5\text{V}$ à $\pm 18\text{V}$.

Note 6 : le pas de maintien est sensible avec la capacité de fuite existant entre le signal logique d'entrée et le condensateur de maintien. Par exemple, 1pF peut créer une élévation de 0.5mV du pas avec un signal logique de 5V et un condensateur de maintien de 100pF.

ANNEXE V

Voici les conditions recommandées pour que le circuit fonctionne normalement :

	TLC548			UNIT
	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	3	5	6	V
Positive reference voltage, V_{ref+}	2.5	V_{CC}	$V_{CC}+0.1$	V
Negative reference voltage, V_{ref-}	-0.1	0	2.5	V
Differential reference voltage, V_{ref+}, V_{ref-}	1	V_{CC}	$V_{CC}+0.2$	V
Analog input voltage	0		V_{CC}	V
High-level control input voltage, V_{IH} (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	2			V
Low-level control input voltage, V_{IL} (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)			0.8	V
Input/output clock frequency, $f_{clock(I/O)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	0		2.048	MHz
Input/output clock high, $t_{wH(I/O)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	200			ns
Input/output clock low, $t_{wL(I/O)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	200			ns
Input/output clock transition time, $t_t(I/O)$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)			100	ns
Duration of \overline{CS} input high state during conversion, $t_{wH(CS)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	17			μ s
Setup time, \overline{CS} low before first I/O CLOCK, $t_{su(CS)}$ (for $V_{CC} = 4.75$ V to 5.5 V)	1.4			μ s
TLC548C	0		70	°C
TLC548I	-40		85	

Tableau 1 : Conditions recommandées

Les caractéristiques électriques du circuit sont :

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	$V_{CC} = 4.75$ V, $I_{OH} = -360$ μ A	2.4			V
V_{OL}	Low-level output voltage	$V_{CC} = 4.75$ V, $I_{OL} = 3.2$ mA			0.4	V
I_{OZ}	High-impedance off-state output current	$V_O = V_{CC}$, \overline{CS} at V_{CC}			10	μ A
		$V_O = 0$, \overline{CS} at V_{CC}			-10	
I_{IH}	High-level input current, control inputs	$V_I = V_{CC}$		0.005	2.5	μ A
I_{IL}	Low-level input current, control inputs	$V_I = 0$		-0.005	-2.5	μ A
$I_{I(on)}$	Analog channel on-state input current during sample cycle	Analog input at V_{CC}		0.4	1	μ A
		Analog input at 0 V		-0.4	-1	
I_{CC}	Operating supply current	\overline{CS} at 0 V		1.8	2.5	mA
$I_{CC} + I_{ref}$	Supply and reference current	$V_{ref+} = V_{CC}$		1.9	3	mA
C_i	Input capacitance	Analog inputs		7	55	pF
		Control inputs		5	15	

Tableau 2: Caractéristiques électriques

ANNEXE VI

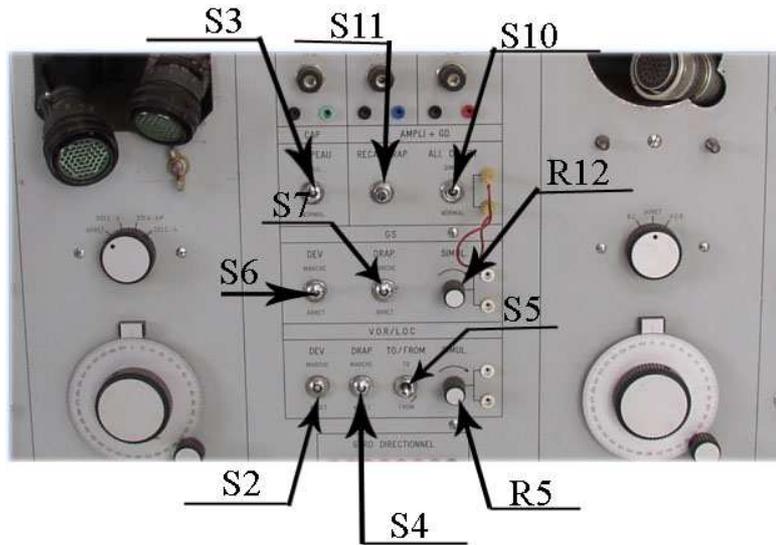


Figure 1: Simulateurs, sélecteurs, simulateurs du banc

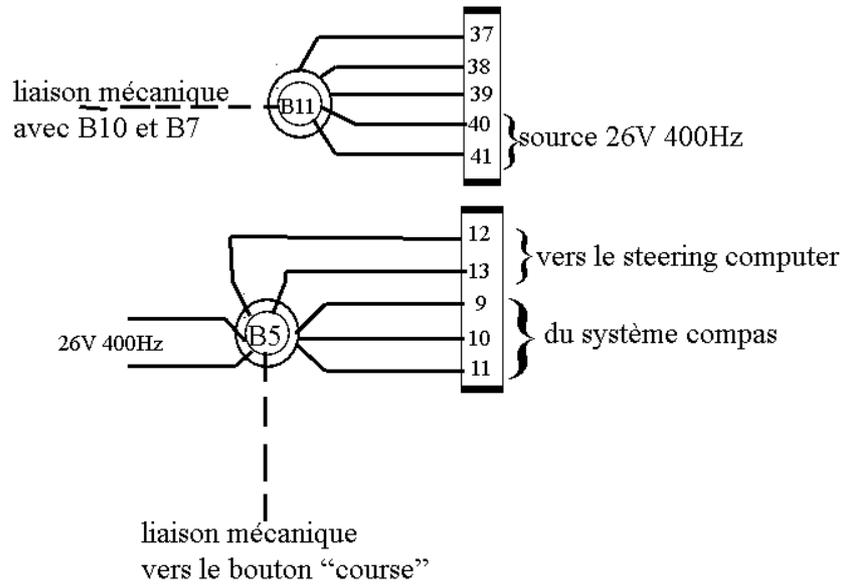


Figure 2: Synchro B11 et resolver B5

ANNEXE VII

Caractéristiques électriques du circuit intégré CD 4051 :

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°			+85°C		Units	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max		
Control A, B, C and Inhibit											
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V V _{IN} = 0V		-0.1		-10 ⁻⁵	-0.1		-1.0	µA	
		V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V V _{IN} = 15V		0.1		10 ⁻⁵	0.1		1.0	µA	
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V		20			20		150	µA	
		V _{DD} = 10V		40			40		300	µA	
		V _{DD} = 15V		80			80		600	µA	
Signal Inputs (V _{IS}) and Outputs (V _{OS})											
R _{ON}	"ON" Resistance (Peak for V _{EE} ≤ V _{IS} ≤ V _{DD})	R _L = 10 kΩ (any channel selected)	V _{DD} = 2.5V, V _{EE} = -2.5V or V _{DD} = 5V, V _{EE} = 0V		650		270	1050		1200	Ω
			V _{DD} = 5V, V _{EE} = -5V or V _{DD} = 10V, V _{EE} = 0V		330		120	400		520	Ω
			V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V or V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V		210		80	240		300	Ω
ΔR _{ON}	Δ "ON" Resistance Between Any Two Channels	R _L = 10 kΩ (any channel selected)	V _{DD} = 2.5V, V _{EE} = -2.5V or V _{DD} = 5V, V _{EE} = 0V				10			Ω	
			V _{DD} = 5V, V _{EE} = -5V or V _{DD} = 10V, V _{EE} = 0V				10			Ω	
			V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V or V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V				5			Ω	
	"OFF" Channel Leakage Current, any channel "OFF"	V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V O/I = ±7.5V, I/O = 0V		±50		±0.01	±50		±500	nA	
	"OFF" Channel Leakage Current, all channels "OFF" (Common OUT/IN)	Inhibit = 7.5V V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V, O/I = 0V I/O = ±7.5V		±200		±0.08	±200		±2000	nA	
Control Inputs A, B, C and Inhibit											
Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°			+85°C		Units	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max		
V _{IL}	LOW Level Input Voltage	V _{EE} = V _{SS} , R _L = 1 kΩ to V _{SS} I _{IS} < 2 µA on all OFF Channels V _{IS} = V _{DD} thru 1 kΩ									
		V _{DD} = 5V		1.5			1.5		1.5	V	
		V _{DD} = 10V		3.0			3.0		3.0	V	
		V _{DD} = 15V		4.0			4.0		4.0	V	
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	V _{DD} = 5	3.5		3.5			3.5		V	
		V _{DD} = 10	7		7			7		V	
		V _{DD} = 15	11		11			11		V	
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V V _{IN} = 0V		-0.1		-10 ⁻⁵	-0.1		-1.0	µA	
		V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V V _{IN} = 15V		0.1		10 ⁻⁵	0.1		1.0	µA	

Tableau 1: Caractéristiques électriques pour les tensions et courants continus

ANNEXE VII

Symbol	Parameter	Conditions	V _{DD}	Min	Typ	Max	Units
t _{pZH} t _{pZL}	Propagation Delay Time from Inhibit to Signal Output (channel turning on)	V _{EE} = V _{SS} = 0V	5V		600	1200	ns
		R _L = 1 kΩ	10V		225	450	ns
		C _L = 50 pF	15V		160	320	ns
t _{pHZ} t _{pLZ}	Propagation Delay Time from Inhibit to Signal Output (channel turning off)	V _{EE} = V _{SS} = 0V	5V		210	420	ns
		R _L = 1 kΩ	10V		100	200	ns
		C _L = 50 pF	15V		75	150	ns
C _{IN}	Input Capacitance						
	Control Input				5	7.5	pF
C _{OUT}	Output Capacitance						
	(common OUT/IN)						
	CD4051	V _{EE} = V _{SS} = 0V	10V		30		pF
C _{IOS}	Feedthrough Capacitance				0.2		pF
C _{PD}	Power Dissipation Capacitance						
	CD4051				110		pF
Signal Inputs (V_{IS}) and Outputs (V_{OS})							
	Sine Wave Response (Distortion)	R _L = 10 kΩ f _{IS} = 1 kHz V _{IS} = 5 V _{p-p} V _{EE} = V _{SS} = 0V	10V		0.04		%
	Frequency Response, Channel "ON" (Sine Wave Input)	R _L = 1 kΩ, V _{EE} = 0V, V _{IS} = 5V _{p-p} 20 log ₁₀ V _{OS} /V _{IS} = -3 dB	10V		40		MHz
	Feedthrough, Channel "OFF"	R _L = 1 kΩ, V _{EE} = V _{SS} = 0V, V _{IS} = 5V _{p-p} 20 log ₁₀ V _{OS} /V _{IS} = -40 dB	10V		10		MHz
	Crosstalk Between Any Two Channels (frequency at 40 dB)	R _L = 1 kΩ, V _{EE} = V _{SS} = 0V, V _{IS} (A) = 5V _{p-p} 20 log ₁₀ V _{OS} (B)/V _{IS} (A) = -40 dB (Note 4)	10V		3		MHz
t _{pHL} t _{pLH}	Propagation Delay Signal Input to Signal Output	V _{EE} = V _{SS} = 0V	5V		25	55	ns
		C _L = 50 pF	10V		15	35	ns
			15V		10	25	ns
Control Inputs, A, B, C and Inhibit							
	Control Input to Signal Crosstalk	V _{EE} = V _{SS} = 0V, R _L = 10 kΩ at both ends of channel. Input Square Wave Amplitude = 10V	10V		65		mV (peak)
t _{pHL} t _{pLH}	Propagation Delay Time from Address to Signal Output (channels "ON" or "OFF")	V _{EE} = V _{SS} = 0V	5V		500	1000	ns
		C _L = 50 pF	10V		180	360	ns
			15V		120	240	ns

Tableau 2: Caractéristiques électriques pour des tensions et courants alternatifs

ANNEXE VIII

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNIT
		MIN	NOM	MAX	
V _{CC}	Supply voltage	4.5	5.0	5.5	V
V _{IH}	High-level input voltage	2.0			V
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V
I _{IK}	Input clamp current			-18	mA
I _{OH}	High-level output current			-0.4	mA
I _{OL}	Low-level output current			8	mA
T _{amb}	Operating free-air temperature range	0		+70	°C

Tableau 1: Conditions recommandées

Les caractéristiques électriques sont données par le tableau suivant :

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} ±10%, V _{IL} = MAX, V _{IH} = MIN, I _{OH} = MAX	V _{CC} - 2			V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IL} = MAX, V _{IH} = MIN	I _{OL} = 4mA	0.25	0.4	V
			I _{OL} = 8mA	0.35	0.50	V
V _{IK}	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = I _{IK}		-0.73	-1.5	V
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7.0V			100	μA
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _I = 0.5V			-0.1	mA
I _O	Output current	V _{CC} = MAX, V _O = 2.25V	-30		-112	mA
I _{CC}	Supply current (total)	V _{CC} = MAX		10	15	mA

Tableau 2: Caractéristique électrique

ANNEXE IX

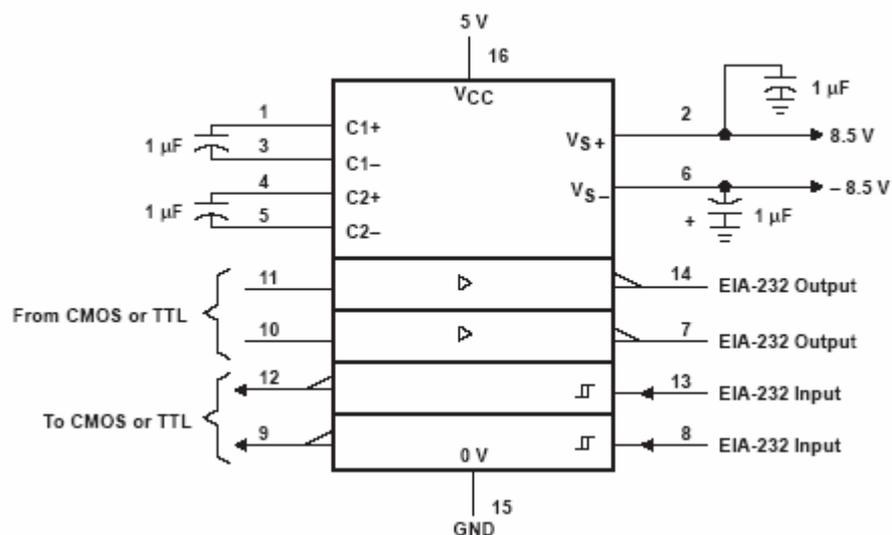


Figure 1: Sens des signaux

Les conditions d'opération recommandées sont :

	Min.	Nom.	Max.	Unité
V _{cc}	4,5	5	5,5	V
Tension en niveau haut V _{IH} (T1IN, T2IN)	2	-	-	V
Tension en niveau bas V _{IL} (T1IN, T2IN)			0,8	V
Tension d'entrée (R1IN, R2IN)			+/-30	V
Température d'opération T _A	0		70	°C

Tableau 1: Conditions d'opération

ANNEXE X

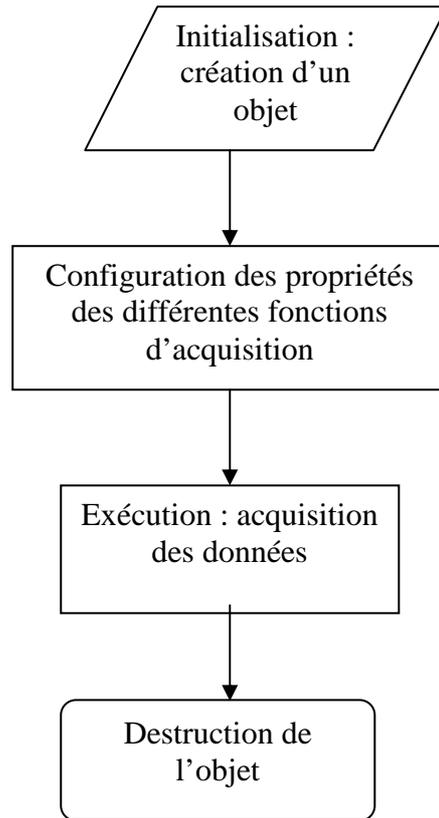


Figure 1 : Organigramme de l'acquisition des données sous Matlab

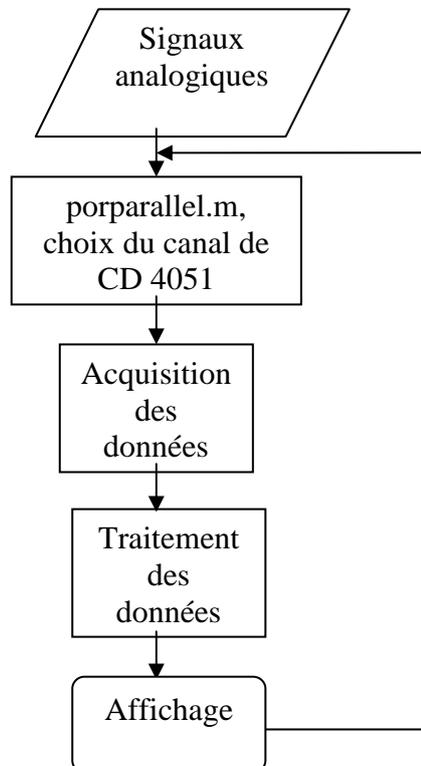


Figure 2 : Organigramme du logiciel "acquistool"

ANNEXE X

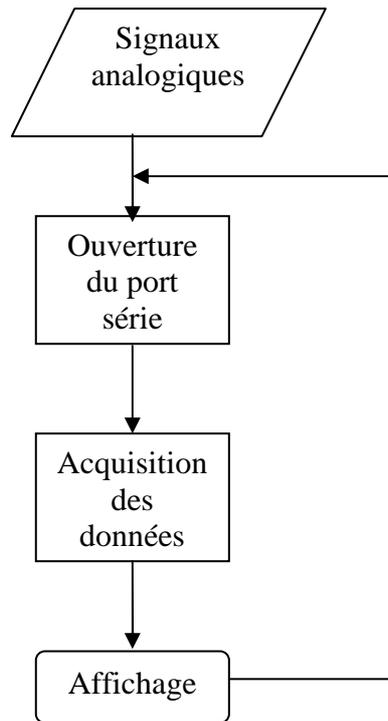


Figure 3 : Organigramme du logiciel "Pacqui"