



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



Sciences Techniques Jeunesse

ASSOCIATION NATIONALE SCIENCES TECHNIQUES JEUNESSE

Secteur ESPACE

16, Place Jacques Brel - 91130 RIS ORANGIS

Téléphone : 01-69-02-76-10 / Télécopie : 01-69-43-21-43

E-Mail : espace@anstj.mime.univ-paris8.fr

Web: <http://anstj.mime.univ-paris8.fr>

Edition Octobre1999

Décodeur de télémétrie IRIG

Compte rendu de projet et manuel d'utilisation

Note technique ANSTJ

Décodeur de télémessure IRIG

1 : Compte-rendu du projet

Présentation

Le décodeur de télémétrie au standard IRIG, également appelé discriminateur de fréquences, est destiné à être utilisé par les clubs aérospatiaux adhérents à l'ANSTJ, pour la réception de leurs télémétries. Il permet de décoder une voie IRIG à la fois, de fréquence centrale comprise entre 400 et 15000 Hz.

La documentation du décodeur de télémétrie IRIG est constituée de trois livrets. Le premier document est le compte-rendu du projet ; il décrit rapidement le décodeur et le déroulement du projet qui a amené à sa construction. Il contient également des informations qui seront utiles pour la construction éventuelle d'un second exemplaire. Il est destiné à informer toute personne intéressée par le projet, des points de vue financiers, déroulement et technique (aperçu seulement). Il contient également un tableau des performances atteintes.

Le second livret est le manuel utilisateur. Il intéresse essentiellement le contrôleur télémétrie pour la campagne de lancements. Il permet à un utilisateur ayant des connaissances en électronique, et connaissant le standard IRIG, d'utiliser le décodeur. Il doit toujours accompagner l'appareil.

Le dernier livret est le manuel de maintenance. Il contient les plans complets de l'appareil ainsi que les formes de signaux typiques sur les points de tests, pour faciliter le diagnostic en cas de défaillance. Un guide aide à ce diagnostic. Aucune réparation, ni même démontage de l'appareil, ne devront être entrepris sans avoir consulté ce manuel. Ce document sera également très utile pour la construction d'exemplaires supplémentaires. Le manuel de maintenance est accompagné d'une disquette comportant les fichiers source du logiciel du microcontrôleur et le texte de ces documents.

Déroulement du projet

Le projet a débuté en octobre 1991. Le but était de remplacer les anciens appareils fournis par le CNES qui, atteints par la limite d'âge, avaient un fonctionnement de plus en plus capricieux. Un cahier des charges a été rédigé ; il se trouve en annexe 1.

Le projet s'est mis en place avec l'IUT de Cachan. Deux groupes de deux élèves y ont consacré leur projet de fin de seconde année. Chaque groupe a exploré une solution technique différente. Le premier groupe a essayé une solution entièrement numérique, consistant à numériser le signal, puis à faire un traitement entièrement numérique par processeur de signal, puis à reconvertir la voie traitée en analogique. Cette solution a échoué pour des raisons de difficultés de mise en oeuvre du système de développement pour le processeur de signal. Elle reste sans doute la plus intéressante à long terme. Elle nécessite de disposer sans limitations d'un système de développement performant, et de bénéficier des compétences de personnes ayant une bonne expérience de ces composants.

Le second groupe a travaillé sur une solution mi numérique-mi analogique : les filtres à capacités commutées. Cette solution permet d'obtenir des filtres d'ordre assez élevé dont les caractéristiques sont réglées par une horloge. En créant cette horloge avec un synthétiseur de fréquences à quartz, on obtient une très bonne stabilité, nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil. Les projets de seconde année de l'IUT représentant le travail de 2 élèves, une journée par semaine pendant 8 semaines, le projet n'a pas été terminé. L'étude n'avait porté que sur le synthétiseur de fréquence et le filtre de sélection de canal. Une maquette de ces parties avait été réalisée et fonctionnait convenablement.

Pour continuer le travail, nous avons employé un stagiaire de l'IUT de Cachan pendant 10 semaines, de mi-mai à fin juin 1992. Son travail consistait à compléter l'étude commencée par ses collègues et à commencer la réalisation pratique de l'appareil. Ce complément d'étude a permis d'aboutir au schéma de principe complet qui est reproduit au paragraphe suivant. Il a également pu étudier les autres filtres à capacités commutées et commencer la réalisation des plaques correspondantes. L'étude menée pendant cette phase a été satisfaisante mais l'avancement de la réalisation pratique a été décevante. C'est sans doute du au manque de suivi de notre part, qui n'a pas permis de tirer pleinement parti de la présence d'un stagiaire. Un suivi bénévole hebdomadaire est sans doute insuffisant pour un travail aussi éloigné de l'apprentissage direct de l'IUT.

Le volume de travail total nécessaire avait également été très nettement sous évalué. L'appareil n'a donc pas pu être prêt, comme prévu initialement pour les campagnes de lancement de l'été 1992. Le projet a donc été continué par des bénévoles pendant l'année scolaire 92-93. Une première version a été achevée pour le début de mai 1993. Elle fonctionne assez convenablement pour être essayée en vraie grandeur pendant la campagne 1993. Certaines performances me semblent toutefois décevantes et mériteraient d'être améliorées. On trouvera à la fin de ce document des indications complémentaires sur les améliorations souhaitables. Les résultats de la campagne de cet été permettront de décider s'il est nécessaire d'étudier ces améliorations, ou bien s'il suffit de reproduire tel quel l'appareil obtenu (ou bien encore s'il faut repartir de zéro avec une solution technique différente).

La suite prévue consiste à employer un stagiaire pendant deux mois pour transformer la "maquette en forme" actuelle en circuits imprimés aisément reproductibles. Nous pourrions appeler cette phase industrialisation. Le but est d'arriver à un dossier complet permettant de sous-traiter la réalisation complète d'un appareil.

solution retenue

Le schéma suivant représente la structure retenue. Le multiplex de fréquence est amplifié, par un amplificateur à gain réglable. Un vumètre indique le niveau du signal amplifié et permet à l'opérateur de régler le gain pour optimiser la dynamique du signal. Un filtre de sélection de canal permet d'éliminer les fréquences indésirables et de ne conserver que les signaux voisins de la fréquence centrale sélectionnée. Le démodulateur fréquence tension est un filtre passe bas. Il est attaqué par un signal d'amplitude constante grâce à une remise en forme (trigger) suivie d'un filtre passe bas éliminant les harmoniques. Après le démodulateur, un filtre passe bas élimine la sous-porteuse. Le signal passe dans un dernier filtre passe-bas pour limiter la bande passante au strict nécessaire, et éliminer ainsi le bruit. L'amplificateur de sortie permet d'adapter le gain et l'offset aux besoins de l'utilisateur du signal.

Tous les filtres sont des filtres à capacités commutées. Leurs fréquences de coupures sont générées par un synthétiseur de fréquence commandé par un même oscillateur à quartz. Un micro-contrôleur commandé par un clavier permet de piloter le synthétiseur et de générer la fréquence de référence. Les différentes fréquences nécessaires sont obtenues par divisions entières à partir de la fréquence de référence. La stabilité du système est ainsi garantie. Le filtre antibruit de sortie fait exception. La fréquence de référence nécessaire à ce filtre à capacités commutées est obtenue par un oscillateur commandé séparément par un potentiomètre accessible à l'opérateur. Aucune stabilité n'était nécessaire pour cette fonction, et aucun rapport précis n'était nécessaire par rapport aux autres fréquences. Un fréquencemètre permet de lire le signal issu du synthétiseur (représentant la fréquence centrale du canal choisi) ou celui issu de l'oscillateur commandant le filtre antibruit (représentant la fréquence de coupure du filtre de sortie).

L'alimentation du système est une alimentation du commerce, permettant d'utiliser directement l'appareil sur le secteur 220 V, 50 Hz. L'appareil se présente sous la forme d'un tiroir 3U, 19 pouces, pouvant être utilisé seul, ou intégré dans une baie 19"

bilan technique - performances

Le tableau suivant résume les performances et les plages de bon fonctionnement de l'appareil obtenu :

	min.	typique	max.	unité
nombre de voies décodées		1		
fréquence centrale de la voie (F0)	400		15500	Hz
excursion en fréquence	-7,5		7,5	% F0
pas de réglage de F0		0,5		%F0
tension d'entrée	7			mVcàc
gain de l'étage de sortie				mV/%F0
offset de l'étage de sortie				V
dynamique de l'étage de sortie		20		Vcàc
fréquence de coupure de sortie	0,5		1300	Hz
résistance d'entrée		10 ⁶		ohms
résistance de sortie		100		ohms
erreur de linéarité		2,3	4,5	%
erreur entre F0 demandée et F0 obtenue		0,02	1,79	%
erreur entre F0 réelle et F0 affichée		0,03		%
atténuation en entrée à F0/2 et 2F0		40		dB

L'appareil supporte les courts-circuits prolongés en sortie sans être détruit ainsi qu'une tension de 50 V continue appliquée durablement à l'entrée.

bilan financier

Le tableau suivant compare le budget prévisionnel et les dépenses réellement engagées. Le budget a été établi pour un appareil entièrement en forme. Cela explique l'écart de frais de main d'oeuvre et la non utilisation du budget "circuits imprimés". Si l'on intègre les dépenses qui restent à engager pour la phase d'industrialisation, on doit s'approcher du devis initial.

	budget	dépensé
main d'oeuvre	15000	7000
composants	7000	5052
alimentation	2000	650
intégration mécanique	4000	963
documentation	500	0
outillage	500	393
déplacements	500	416
circuits imprimés	500	0
TOTAL	30000	14474

Le budget prévisionnel n'ayant pu entièrement être réuni, un effort d'économies a été fait (l'alimentation par exemple), qui explique certains écarts. De plus un certain nombre de composants ont été fournis par des bénévoles, ce qui représente un apport important non valorisé. Le dossier a été présenté à l'ANVAR qui a fourni une aide de 10 000 F.

Le coût ci-dessus comprend la phase d'étude. Le prix récurrent d'un discriminateur est difficile à évaluer : il dépend essentiellement de l'intermédiaire retenu pour sa réalisation. Entre l'hypothèse d'un lycée technique et celle d'une société de réalisation électronique, les écarts sont très importants. Hors main-d'oeuvre, on peut évaluer le coût "matière". Le prix ci-dessus est sans doute proche de la réalité. Certains composants ont été fournis par des bénévoles, ce qui ne sera plus possible de façon récurrente ; mais d'autre part certains composants qui ne pouvaient être achetés que par quantités élevées sont maintenant stockés. Seul le prix de l'alimentation devra être réévalué. On peut donc évaluer le prix "matière" récurrent à environ 9000 F.

améliorations possibles

Ce premier modèle a subi les aléas de développement. Certaines fonctions pourraient être améliorées, ainsi que la vitesse de réalisation et la fiabilité. La réalisation de circuit imprimés double face avec plan de masse pour les deux cartes analogiques permettrait un gain de temps appréciable. Le niveau de bruit serait également amélioré. Si un second modèle est réalisé, cela semble souhaitable. Si plusieurs autres modèles sont désirés, c'est indispensable. Pour la carte numérique, si on n'a pas accès à des moyens de réalisation de circuits imprimés multicouches, le wrapping me semble rester la meilleure solution.

L'alimentation a été choisie chez RS-Composants, car c'était le modèle le meilleur marché qui fournisse toutes les tensions d'alimentation nécessaires. Elle a deux défauts : être à découpage et donc bruyante, et être capable de fournir 90 W, en étant stable avec une charge minimum de 25%. Cette dernière caractéristique a été découverte lors de la livraison, et a obligé à câbler à demeure une charge résistive de 25 W, puis à monter un ventilateur pour évacuer cette chaleur... Pour un futur modèle, il serait préférable, même à prix plus élevé, d'utiliser des modules d'alimentation linéaires, qui abaisseraient fortement le niveau de bruit et qui n'auraient pas de charge minimale imposée. La carte numérique pourrait être très réduite si on intègre les composants utilisés avec une des nombreuses possibilités actuelles. Selon l'accès possible aux moyens de développement et de programmation, on peut envisager des PALs, des EPLD, ou un FPGA. Le schéma du synthétiseur de fréquence peut être simplifié en supprimant deux bascules D (pré-diviseur de l'oscillateur et multiplieur de la boucle de la PLL), depuis l'utilisation du comparateur de phase n°2 du circuit 4046, qui ne nécessite pas un rapport cyclique 1/2. L'oscillateur devra être remplacé par un autre modèle d'approvisionnement plus facile.

Le démodulateur fréquence-tension est réalisé par un filtre passe-bas. Sa linéarité est suffisante si l'on se place suffisamment loin de la fréquence de coupure, ce qui n'est pas le cas actuellement. Un plus grand rapport entre la fréquence du signal et la fréquence de coupure signifie une atténuation importante du signal. Pour conserver un rapport signal à bruit suffisant, il faut intercaler des étages d'amplification entre les étages de filtrage. Cette modification reste à étudier, et me semble indispensable pour le modèle définitif.

Ce démodulateur nécessite également un signal d'amplitude constante à l'entrée. Cette caractéristique est obtenue actuellement par un amplificateur écréteur, qui rejète bien le bruit s'il est suffisamment faible, mais pas du tout s'il est trop fort. Le réglage du niveau d'entrée peut avoir une influence sur ce fonctionnement. Un amplificateur à CAG éviterait cet inconvénient. L'épreuve d'une campagne nous dira sans doute si ce choix était le bon ou si l'amplificateur à CAG semble utile. L'utilisation d'un tiroir un peu plus haut devrait permettre de décoder deux voies dans le même boîtier. La place prise par l'électronique interne n'est pas critique. La consommation ne pose pas non plus de problème. La limite est actuellement imposée par la surface disponible en face avant pour les réglages et indicateurs nécessaires. Dans ce cas, l'alimentation et le circuit d'amplification en entrée n'auraient pas à être dupliqués. On pourrait imaginer d'utiliser un seul clavier et un seul fréquencemètre (avec un seul micro-contrôleur) pour commander les deux synthétiseurs de fréquence. Les aspects pratiques d'utilisation sont à réfléchir.

annexe : cahier des charges

Ce texte décrit les performances recherchées du discri. Il a été fourni comme donnée d'entrée à l'IUT de Cachan :

PROPOSITION D'ETUDE D'UN DECODEUR DE TELEMESURE POUR FUSEES EXPERIMENTALES

1) Présentation de l'ANSTJ

Depuis 1962, l'Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse a pour objet le développement des loisirs scientifiques et techniques des jeunes. Elle regroupe des jeunes menant des activités expérimentales à caractère scientifique et technique dans les domaines de la fusée, de l'astronomie, de l'énergie solaire, de la télédétection, de l'environnement, de l'informatique ou de la robotique.

Avec ses animateurs, elle leur apporte un soutien technique, méthodologique et matériel. Elle organise des manifestations locales, régionales, nationales ou internationales (stages, séjours d'été, campagnes d'observation et d'exploitation, expositions, etc.). Elle suit les clubs scientifiques de jeunes et développe des matériels spécifiques pour ces activités.

L'ANSTJ reçoit le soutien de grands organismes scientifiques tels que le Centre National d'Etudes Spatiales ou l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, des ministères de la Jeunesse et des Sports, de la Recherche et de la Technologie ou de l'Education Nationale, et de nombreux industriels.

2) Le secteur espace de l'ANSTJ

L'activité aérospatiale amateur a été à l'origine du développement de l'ANSTJ. Elle est née au début des années 60 de l'engouement des jeunes pour l'aéronautique dès le début de la conquête de l'espace.

Avec le soutien du CNES, le secteur espace de l'ANSTJ a permis de canaliser l'enthousiasme des jeunes et de développer cette activité en toute sécurité, notamment en ce qui concerne l'utilisation des propulseurs à poudre qui sont fournis par le CNES.

Le secteur espace de l'ANSTJ, c'est aujourd'hui plus de 8000 jeunes touchés annuellement, 50 clubs qui développent des projets de fusées expérimentales. C'est tous les ans plus de 10000 micro-fusées en balsa et en carton qui s'élèvent à 200 m en quelques secondes, 100 mini-fusées de 500 à 1000 g qui redescendent de 1000 m sous parachute, 30 fusées expérimentales de 3 à 40 kg qui émettent leur télémessure avant d'atteindre 5000 m d'altitude en 50 s. C'est aussi des ballons qui envoient leur télémessure depuis 35 km d'altitude, des expériences en impesanteur dans la caravelle OG du CNES ou dans la station MIR, et des satellites amateurs comme SARA qui a été lancé avec succès par Ariane le 16 juillet dernier.

3) Contexte de l'étude

Tous les ans, une trentaine de fusées expérimentales sont lancées au cours d'une campagne nationale organisée par le CNES et l'ANSTJ.

Ces fusées effectuent durant leur vol un certain nombre de mesures sur leur trajectoire ou sur l'environnement. Ces mesures sont transmises vers le sol en temps réel au moyen d'un émetteur embarqué. La télémessure, plutôt que l'enregistrement à bord permet de disposer des mesures même si la fusée ne pouvait être récupérée (défaut du système d'ouverture du parachute ou non localisation de la fusée au sol).

Pour aider les clubs, l'ANSTJ met à leur disposition un certain nombre d'équipements dont une station de réception de télémessure. Celle-ci se compose d'une antenne, d'un récepteur, d'un magnétophone, d'un décodeur et d'un enregistreur graphique.

Un standard est imposé à tous les clubs qui veulent utiliser cette station :

- émission AM en 136,5 MHz
- codage de chaque voie par une sous-porteuse modulée en fréquence selon le standard IRIG
- en cas de transmission de plusieurs voies, multiplexage en fréquence des sous-porteuses.

L'ANSTJ dispose de matériel professionnel de réception et de décodage, car ce standard fut autrefois très utilisé. Il est aujourd'hui totalement abandonné, et il n'est plus possible de trouver dans le commerce d'appareils pour remplacer ceux qui arrivent en fin de vie. La simplicité et le faible coût du codeur IRIG embarqué dans la fusée, ainsi que des raisons pédagogiques, justifient la poursuite de l'utilisation de ce standard par les clubs aérospatiaux. Nous souhaitons donc lancer l'étude d'un nouveau décodeur IRIG.

Il doit s'intégrer dans notre station de télémétrie et doit à terme être opérationnel pendant une campagne. Il ne s'agit donc pas d'une maquette sur table nécessitant des réglages incessants, mais d'un appareil supportant le transport et pouvant être manipulé par différentes personnes formées rapidement. Son fonctionnement doit être suffisamment "sain" pour ne pas tenir à un concours de circonstances entre la température, l'hygrométrie et la vitesse du vent!

4) Principe du codage IRIG (voir schéma de principe en annexe)

Chaque grandeur physique mesurée est convertie en une tension électrique par un capteur. Ce signal varie lentement (du continu à quelques centaines de Hertz maximum). Cette tension pilote un VCO qui produit un signal modulé en fréquence. Ce VCO est réglé pour que toute la dynamique du signal d'entrée donne une variation de fréquence de plus ou moins 7,5% (parfois plus ou moins 15%) autour d'une fréquence centrale de quelques kilo-Hertz. Cette fréquence centrale est souvent choisie dans un tableau donné en annexe.

Lorsqu'il y a plusieurs voies à transmettre, on utilise plusieurs VCO calés sur des fréquences centrales différentes. Ces signaux sont additionnés pour former un multiplex en fréquence. Ce multiplex est ensuite appliqué à l'émetteur qui permet la transmission vers le sol. Au sol un récepteur restitue le multiplex qui est enregistré par un magnétophone. Ce signal est également envoyé au décodeur IRIG. Celui-ci doit restituer le signal issu d'un capteur. Si le décodeur dispose de deux canaux, il restitue simultanément les signaux de deux capteurs. Si on transmet plus de voies, on repasse plusieurs fois la bande magnétique en réglant à chaque fois le décodeur sur la fréquence centrale d'un capteur.

5) Spécification du décodeur de télémétrie

La tension de sortie du récepteur est comprise entre 0,1 et 3 V, selon le récepteur. Son impédance de sortie est faible (quelques ohms). Un amplificateur en entrée, à gain réglable en continu ou par pas (1, 2, 5, 10 et 20 par exemple) doit permettre d'adapter le niveau de signal. Un indicateur, de type "vumètre" par exemple, placé en sortie de cet amplificateur servira à régler le gain pour que le signal soit compris entre la moitié et les trois-quarts de la dynamique de l'étage suivant. Le signal entre sur une prise BNC, avec une impédance d'entrée supérieure à 5000 ohms. Le circuit d'entrée ne doit pas être endommagé par un niveau continu de 30 V.

La fréquence centrale des sous-porteuses IRIG utilisées est comprise entre 400 et 15000 Hertz. Cette fréquence doit être fixée par un seul réglage continu. Si cela est nécessaire la plage de réglage peut être divisée en 4 gammes ; elles doivent alors se recouvrir d'au moins 20% (la fréquence minimale d'une gamme est inférieure d'au moins 20% à la fréquence maximale de la précédente). Le réglage par pas est possible. Les pas doivent alors être inférieurs à 0,5 % de la fréquence. La fréquence choisie doit être affichée avec une précision supérieure à 0,1 %.

Le filtre passe-bande sélectionnant le canal IRIG a une bande passante à 1 dB de +/- 20 % de Fc (fréquence centrale). Son atténuation à 0,5 Fc et 2 Fc est supérieure à 12 dB.

La linéarité du démodulateur FM doit être meilleure que 3%. Un commutateur doit permettre de choisir entre 7,5 et 15% d'excursion en fréquence.

La sortie doit être munie d'un filtre passe-bas. Sa fréquence de sortie est réglable dans la plage 1 Hz à 2 kHz. La fréquence de coupure de ce filtre doit être affichée à 10 % près. Il est d'ordre supérieur ou égal à 2 et a un gain plat à 5 % près dans sa bande passante.

Le signal de sortie peut avoir une composante continue et des composantes alternatives jusqu'à 2 kHz. Son niveau doit être centré sur 0 V. Un amplificateur à gain réglable permettra d'ajuster le niveau de sortie entre -5 et +5 V. Son impédance de sortie sera inférieure à 1000 ohms. Il devra supporter les courts-circuits prolongés.

Le signal sort sur une prise BNC.

L'alimentation sera prélevée sur le secteur 220 V 50 Hz. La ligne d'alimentation comportera un fusible accessible en face arrière. Tous les réglages, voyants, prises pour le signal d'entrée ou de sortie, seront en face avant.

L'ensemble sera intégré dans un tiroir pour baie au standard 19 pouces. Celui-ci sera muni de poignées pour son transport et pour protéger la face avant.

Si la solution retenue le permet simplement, l'appareil sera muni de 2 canaux. Tous les réglages seront alors dupliqués, sauf pour l'amplificateur d'entrée. Sinon nous ajouterons ultérieurement la capacité 2 canaux en dupliquant les modules nécessaires. Il faudra donc dans tous les cas prévoir la place pour installer les modules permettant de décoder 2 canaux. L'alimentation devra prévoir cette évolution. La face avant devra comporter les perçages nécessaires.

L'utilisation de modules du commerce est envisageable (alimentation par exemple).

6) Fournitures

En plus de l'appareil seront fournies les documentations suivantes :

- manuel utilisateur.
- manuel de maintenance : Il comprendra notamment les plans électriques complets, les plans mécaniques, les schémas d'implantation, si nécessaire la procédure pour ajouter la capacité "2 canaux", la nomenclature des composants, l'allure des principaux signaux électriques pour permettre le dépannage.
- un relevé des performances mesurées.
- la copie des masques des éventuels circuits imprimés.

ANNEXE : tableau des sous-porteuses IRIG :

voie	Fmin(Hz)	Fc(Hz)	Fmax(Hz)
1	370	400	430
2	518	560	602
3	675	730	785
4	888	960	1032
5	1202	1300	1398
6	1572	1700	1828
7	2127	2300	2473
8	2775	3000	3225
9	3607	3900	4193
10	4995	5400	5805
11	6799	7350	7901
12	9712	10500	11538
13	13412	14500	15588

Décodeur de télémessure IRIG

2 : Manuel utilisateur

Présentation

Le décodeur de télémétrie au standard IRIG, également appelé discriminateur de fréquences, est destiné à être utilisé par les clubs aérospatiaux adhérents à l'ANSTJ, pour la réception de leurs télémétries. Il permet de décoder une voie IRIG à la fois, de fréquence centrale comprise entre 400 et 15000 Hz.

La documentation du décodeur de télémétrie IRIG est constituée de trois livrets. Le premier document est le compte-rendu du projet ; il décrit rapidement le décodeur et le déroulement du projet qui a amené à sa construction. Il contient également des informations qui seront utiles pour la construction éventuelle d'un second exemplaire. Il est destiné à informer toute personne intéressée par le projet, des points de vue financiers, déroulement et technique (aperçu seulement). Il contient également un tableau des performances atteintes.

Le présent document est le manuel utilisateur. Il intéresse essentiellement le contrôleur télémétrie pour la campagne de lancements. Il permet à un utilisateur ayant des connaissances en électronique, et connaissant le standard IRIG, d'utiliser le décodeur. Il doit toujours accompagner l'appareil. Cette version du document décrit le fonctionnement du prototype. Les exemplaires suivants pourront fonctionner légèrement différemment ou nécessiter des précautions d'emploi différentes. Il est important de vérifier que le manuel utilisé correspond bien à l'appareil.

Le dernier livret est le manuel de maintenance. Il contient les plans complets de l'appareil ainsi que les formes de signaux typiques sur les points de tests, pour faciliter le diagnostic en cas de défaillance. Un guide aide à ce diagnostic. Aucune réparation, ni même démontage de l'appareil, ne devront être entrepris sans avoir consulté ce manuel. Ce document sera également très utile pour la construction d'exemplaires supplémentaires. Le manuel de maintenance est accompagné d'une disquette comportant les fichiers source du logiciel du microcontrôleur et le texte de ces documents.

précautions d'emploi

Cet appareil doit être alimenté par le secteur. Certaines précautions doivent être prises pour assurer la sécurité de l'utilisateur.

Avant tout branchement s'assurer que le cordon secteur utilisé a un aspect normal (isolant non abîmé). Le cordon doit comporter une prise 6A norme européenne 2P+T d'un côté et une fiche droite CEE22 à l'autre extrémité.

Le décodeur doit être branché sur une prise au standard européen fournissant 220 V, 50 Hz. Cette prise doit être reliée à une ligne capable de fournir 16 A et munie d'une prise de terre. Le châssis métallique est relié au conducteur de terre et au 0 V électrique de l'appareil. Il est interdit de brancher l'appareil sur une prise non munie de la terre, ou bien d'isoler l'appareil de la terre. Si l'appareil est utilisé à l'extérieur (sous une tente, dans un camion), ou bien à l'intérieur sur un sol en ciment ou carrelé, il doit être branché sur une ligne protégée par un disjoncteur différentiel de 30 mA maximum. Si il est utilisé à l'intérieur, dans un local non humide et muni d'un sol isolant (parquet, moquette, lino,...), un disjoncteur différentiel de 500 mA est suffisant (un disjoncteur de 30 mA est toujours recommandé).

Cet appareil ne doit jamais être utilisé à l'extérieur sans abris, et il ne doit jamais être soumis à des projections d'eau. Il ne doit donc jamais être utilisé dehors sous la pluie, même légère. Il peut être considéré comme ayant un niveau de protection équivalent à IP223. Il s'agit d'un appareil de classe I.

Il est interdit de tenter la moindre maintenance de l'appareil sans avoir consulté le dernier paragraphe de ce document.

descriptif de la face avant

Le schéma de la page suivante représente la face avant. Sur l'appareil des inscriptions rappellent les fonctions. Les organes de commande et d'affichage sont décrits ci-dessous.

1 : Interrupteur secteur. Permet la mise en marche ou l'arrêt de l'appareil. Un voyant orange s'allume lorsque l'appareil fonctionne. Cet interrupteur doit être coupé avant de débrancher l'appareil.

2 : Affichage du niveau d'entrée. Ce vumètre indique le niveau du signal appliqué au discriminateur après amplification d'entrée. L'affichage dépend donc du gain réglé (voir n°4). Le niveau affiché est la somme de toutes les voies : la mesure est faite en amont du filtre de sélection de canal. Le réglage optimal est d'environ 80%. Au delà on sature la chaîne de traitement, ce qui ne peut que réduire la qualité du décodage. Un niveau trop bas (inférieur à 40%) rend le tracé sensible au bruit.

3 : Entrée. Connecteur BNC sur lequel doit être appliqué le signal à démoduler. L'impédance d'entrée est élevée (environ 10^6 ohms). Le niveau d'entrée optimal est voisin de 1 V crête à crête.

4 : réglage du niveau d'entrée. Ce potentiomètre modifie le gain de l'amplificateur d'entrée pour adapter le niveau du signal fourni par le récepteur ou le magnétophone au niveau optimal de fonctionnement de la chaîne. Le gain varie de 1 à 22 environ. Le vumètre permet de choisir au mieux le gain (voir n°2). Le gain augmente en tournant le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre.

5 : ajustage de la fréquence. Cet interrupteur peut être maintenu fugitivement vers le haut ou vers le bas. Il fait alors varier de 0,8% la fréquence centrale sélectionnée. Vers le haut, la fréquence centrale augmente et vers le bas, elle diminue. Cela permet de rechercher rapidement le réglage optimal autour d'une fréquence sélectionnée au clavier. En maintenant longuement ce bouton vers le haut ou vers le bas, on balaye rapidement la gamme de fréquence.

6 : affichage de la fréquence centrale. Ce fréquencemètre affiche la fréquence centrale sélectionnée, ou la fréquence de coupure du filtre de sortie. La fréquence est toujours donnée en hertz. Par défaut, la fréquence centrale est affichée. Le réglage n°8 permet d'afficher fugitivement la fréquence de coupure du filtre de sortie. Il s'agit réellement d'un fréquencemètre, qui mesure la fréquence réellement sélectionnée, et qui n'est directement influencé par la saisie au clavier.

7 : choix de la fréquence centrale. Ce clavier permet de spécifier la fréquence centrale du signal à décoder. La fréquence est saisie en kilo hertz. La touche "*" permet de saisir le séparateur décimal. La touche "#" permet de valider. Un buzzer émet un son à chaque saisie valide. L'appui sur la touche "#" alors que la fréquence indiquée n'est pas valide remet à zéro le dispositif de saisie, sans émettre aucun son, ni sans modifier la fréquence sélectionnée. La fréquence ne change que lorsque l'on appuie sur "#" et que cette action provoque un bip sonore. La fréquence saisie doit être comprise entre 400 et 15000 Hz.

8 : affichage de la fréquence de coupure du filtre de sortie. En maintenant appuyé cet interrupteur, on obtient l'affichage fugitif de la fréquence de coupure du filtre de sortie (en hertz) sur le fréquencemètre (n°6). Cet affichage remplace celui de la fréquence centrale.

9 : gamme de fréquence du filtre de sortie. Cet interrupteur à 3 positions permet de choisir la gamme de fréquence de coupure du filtre de sortie. La position haute permet d'obtenir une fréquence de coupure comprise entre 0,5 et 9 Hz, la position moyenne entre 4 et 120 Hz et la position basse entre 60 et 1300 Hz.

10 : réglage de la fréquence du filtre de sortie. Potentiomètre permettant de choisir finement la fréquence de coupure du filtre de sortie. La gamme de réglage est fixée par le réglage n°9. La fréquence augmente en tournant le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre.

11 : réglage de l'offset de l'ampli de sortie. Ce potentiomètre permet de choisir le niveau continu du signal de sortie. Cela permet par exemple de positionner la courbe sur le papier de l'enregistreur graphique. L'offset peut varier de -9 à +9 V environ. L'offset augmente en tournant le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre.

12 : sortie. Connecteur BNC fournissant le signal démodulé. L'impédance de sortie est de 100 ohms.

13 : réglage de l'amplitude de sortie. Ce potentiomètre permet de régler le gain de l'amplificateur de

sortie. Le gain peu varier de 0 à 15 environ. Le gain augmente en tournant le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre.

14 : voyant "accroché". Ce voyant est allumé lorsqu'un niveau suffisant est disponible en sortie du filtre de sélection de canal. Lorsqu'il est éteint, le signal de sortie n'a aucune signification. Un signal clignotant indique un niveau insuffisant : à corriger avec le bouton de réglage du gain (n°4). Si il est allumé, et dans des circonstances normales, un signal cohérent est décodé.

DESSIN DE LA FACE AVANT

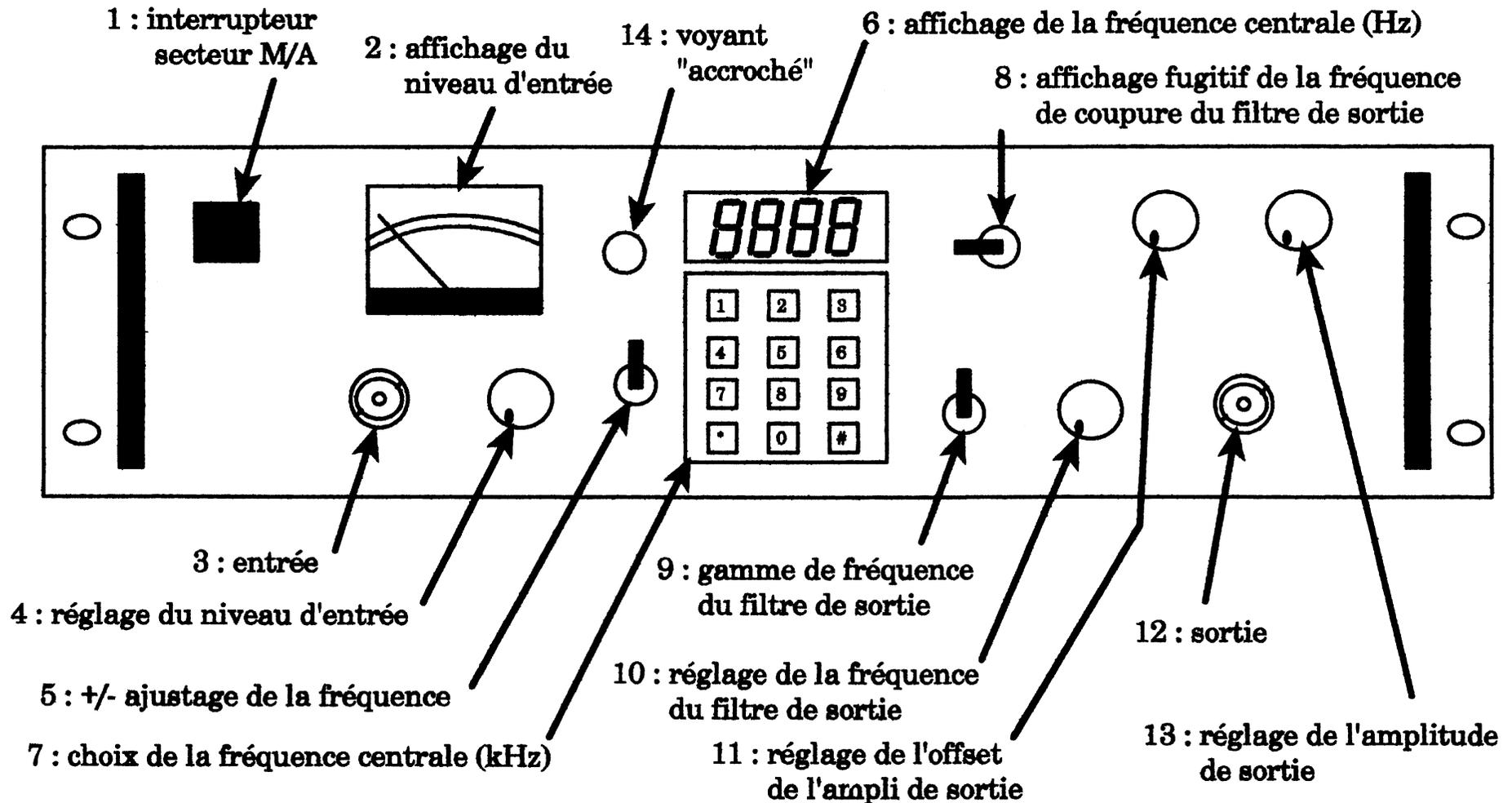


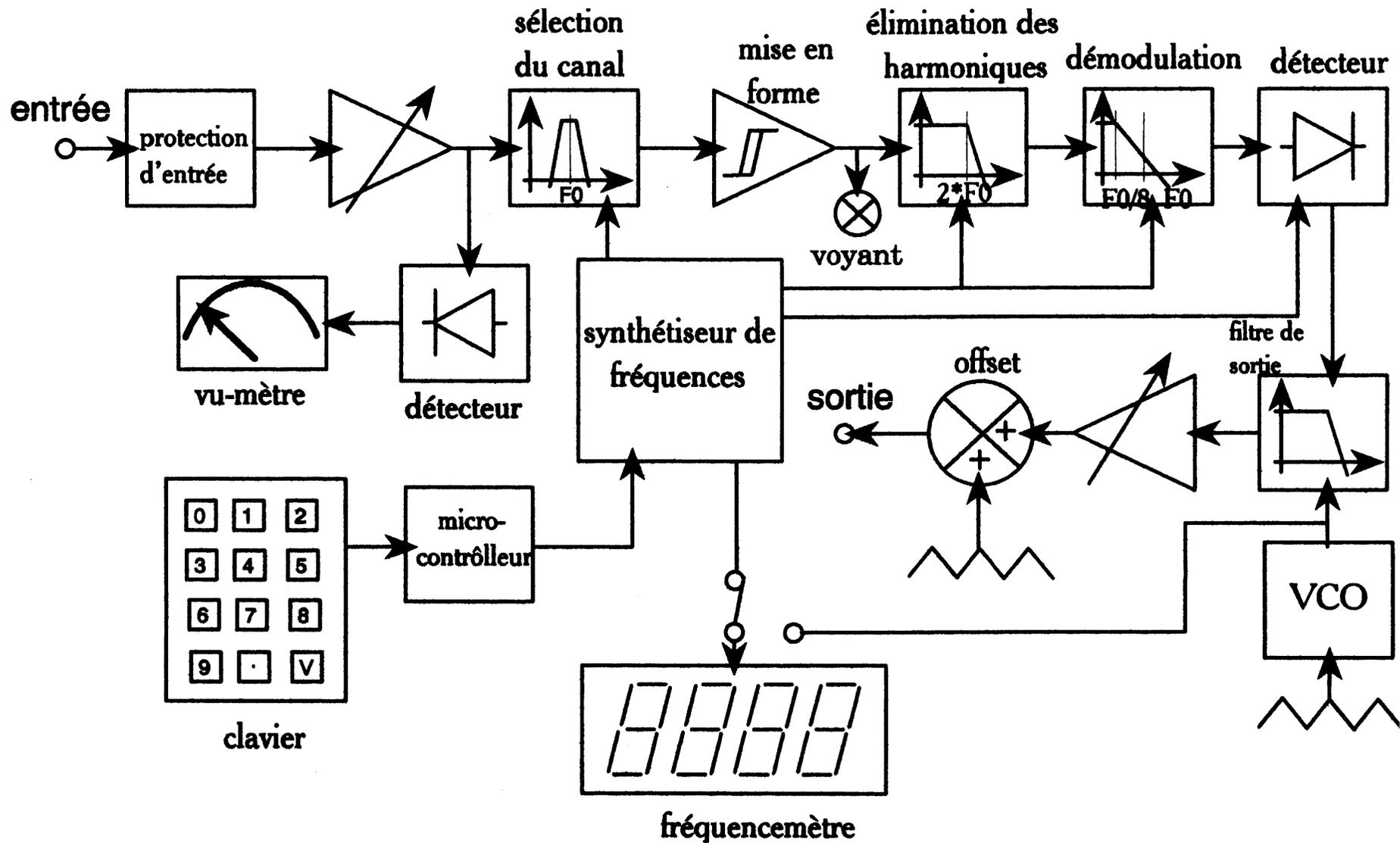
schéma de principe

Le schéma de la page suivante résume le fonctionnement du discriminateur. Le multiplex de fréquence est amplifié, par un amplificateur à gain réglable. Un vumètre (n°2) indique le niveau du signal amplifié et permet à l'opérateur de régler le gain pour optimiser la dynamique du signal. Un filtre de sélection de canal permet d'éliminer les fréquences indésirables (les autres voies et le bruit) et de ne conserver que les signaux voisins de la fréquence centrale sélectionnée. **Le principe retenu limite à +/- 7,5% l'excursion en fréquence autour de la fréquence centrale sélectionnée. Les clubs qui déborderaient largement de cette gamme ne pourraient pas utiliser le discriminateur pour décoder leur télémètre.**

Le démodulateur fréquence-->tension est un filtre passe bas ayant une fréquence de coupure très inférieure à la fréquence du signal. Il est attaqué par un signal d'amplitude constante grâce à une remise en forme (trigger) suivie d'un filtre passe bas éliminant les harmoniques. Le voyant détecte un niveau suffisant en sortie du trigger. Après le démodulateur, une diode crée une composante continue et un filtre passe bas élimine la sous-porteuse. Le signal est traité par un dernier filtre passe-bas pour limiter la bande passante au strict nécessaire, et éliminer ainsi le bruit. L'amplificateur de sortie permet d'adapter le gain et l'offset aux besoins de l'utilisateur du signal.

Tous les filtres sont des filtres à capacités commutées. Leurs fréquences de coupures sont générées par un synthétiseur de fréquence commandé par un même oscillateur à quartz. Un microcontrôleur commandé par un clavier permet de piloter le synthétiseur et de générer la fréquence de référence. Les différentes fréquences nécessaires sont obtenues par divisions entières à partir de la fréquence de référence. La stabilité du système est ainsi garantie. Par contre, la résolution du synthétiseur ne permet pas d'obtenir exactement la fréquence demandée, ce qui explique l'écart entre la fréquence demandée et la fréquence obtenue.

Le filtre antibruit est piloté différemment. La fréquence de référence nécessaire à ce filtre à capacités commutées est obtenue par un oscillateur commandé séparément par un potentiomètre accessible à l'opérateur. Aucune stabilité n'était nécessaire pour cette fonction, et aucun rapport précis n'était nécessaire par rapport aux autres fréquences. On utilise pour cet oscillateur un VCO bien connu des amateurs de télémètre IRIG : le LM566. Un fréquencemètre permet de lire le signal issu du synthétiseur (représentant la fréquence centrale du canal choisi) ou celui issu de l'oscillateur commandant le filtre antibruit (représentant la fréquence de coupure du filtre de sortie). Il s'agit réellement d'un fréquencemètre ; l'afficheur n'est pas commandé par le microcontrôleur.



utilisation typique

La séquence ci-dessous indique comment utiliser les différents réglages pour décoder au mieux une télémesure. Les numéros indiqués font référence au schéma de la face avant (voir paragraphe "descriptif de la face avant").

1) Connecter l'appareil

Relier le discriminateur au secteur 220 V par un cordon d'alimentation en bon état branché sur la face arrière (voir "Précautions d'emploi"). Cette étape n'est pas nécessaire si l'appareil est déjà intégré dans une baie. Mettre sous tension le discriminateur (bouton n°1). Après environ 4 ou 5 secondes, il affiche 1070 Hz. Relier la source du signal à décoder (sortie du récepteur ou sortie du magnétophone ou montage du club) à l'entrée du discriminateur (connecteur BNC n°3), en utilisant un cordon BNC-BNC. Il peut être pratique, avec un Té BNC, d'observer le signal sur un oscilloscope. Relier la sortie du discriminateur (connecteur n°12) sur l'enregistreur graphique avec un cordon BNC. Il peut être pratique d'observer en parallèle le signal de sortie avec un oscilloscope ou un voltmètre.

2) Régler le niveau d'entrée

Le réglage du niveau d'entrée est obtenu en tournant le bouton n°4. Choisir une position permettant de visualiser sur le vumètre un niveau compris entre 40 et 80%. Si cela n'est pas possible, modifier le réglage de l'appareil fournissant le signal. Si la télémesure ne comporte qu'une seule voie, et que la qualité de réception est correcte, il sera toujours possible d'y parvenir, et un niveau entre 40 et 80% garantira un bon fonctionnement du décodeur. Un réglage à plus de 80% est à déconseiller car il sature l'appareil, ce qui dégrade la qualité du décodage. L'appareil fonctionne correctement jusqu'à environ 10%. Il est alors très sensible au bruit. Il est préférable de rester entre 40 et 80%. Si toutes les possibilités de réglage sont épuisées et que cette gamme n'est pas atteinte, il y a probablement un problème plus grave. Pour des utilisations particulières, il peut être nécessaire de prévoir un amplificateur ou un atténuateur extérieurs.

Si la télémesure comporte plusieurs voies, l'indication du vumètre n'est correcte que si les voies ont un niveau comparable. Un facteur 2 entre l'amplitude de la voie la plus forte et celle de la voie la plus faible, est un maximum. Si ce critère n'est pas respecté, on ne peut garantir un décodage correct des voies les plus faibles. Le vumètre indique la somme des amplitudes des voies. Si on règle par exemple le niveau à 80% pour une télémesure à 2 voies dont une est dix fois plus faible que l'autre, cela signifie que le niveau réel de la plus faible est seulement de 7%, soit insuffisant pour décoder correctement. Si on augmente le réglage, la voie la plus forte sature la chaîne d'amplification, masquant complètement la voie la plus faible : le dispositif actuel ne permet pas de résoudre le problème. Il est donc important d'équilibrer le mieux possible les différentes voies.

3) régler la fréquence centrale

La fréquence centrale est la fréquence correspondant au milieu de l'excursion possible du phénomène mesuré. L'appareil est capable de démoduler un signal dont la fréquence est comprise entre la fréquence centrale -7,5% et la fréquence centrale +7,5%. Si par exemple on choisit 1000 Hz, on décodera tout signal dont la fréquence est comprise entre 925 et 1075 Hz. Si le paramètre physique ne varie que dans un seul sens (courbe d'altitude par exemple) choisir comme fréquence centrale la fréquence correspondant à la moitié de la variation maximale du phénomène.

Pour connaître la fréquence d'une voie de télémètre, on peut faire confiance au club ou mesurer. La seconde solution donne souvent de meilleurs résultats. Le mieux, avant le décollage d'une fusée, est de mesurer au fréquencemètre en sortie du VCO. Une fois la fusée dans la rampe, ou après le vol, si les mesures prises avant le décollage ont trop varié, l'observation à l'oscilloscope du signal d'entrée permet d'obtenir un ordre de grandeur.

Pour régler cette fréquence utiliser le clavier. La fréquence est saisie en kilo hertz. La virgule est obtenue par la touche "*" et la validation se fait en pressant sur "#". L'afficheur n'indique pas au fur et à mesure les chiffres tapés. Il affichera seulement la nouvelle fréquence choisie quand celle-ci aura été validée. Au fur et à mesure de la saisie, seul un bip sonore indique la validité des touches pressées.

exemples :

pour obtenir 8 kHz : taper "8", "#".

pour obtenir 3450 Hz : taper "3", "*", "4", "5", "#".

pour obtenir 450 Hz : taper "*", "4", "5" "#" ou ".0", "*", "4", "5" "#"

pour obtenir 12,2 kHz : taper "1", "2", "*", "2", "#".

En cas d'erreur, taper sur "#" et recommencer.

Si la fréquence est connue de façon imprécise, l'interrupteur n°5 permet de tâtonner. Lorsque la fréquence centrale choisie est suffisamment proche de la fréquence courante du signal d'entrée, le voyant n°14 s'allume. Tant que ce voyant n'est pas allumé, le réglage n'est pas correct.

Si entre les contrôles pré-vol et le vol les réglages des voies ont beaucoup dérivé, la méthode suivante permet de remesurer les fréquences des voies :

- 1 : brancher un générateur à l'entrée
- 2 : régler ce générateur à la fréquence affichée sur le discriminateur
- 3 : régler le niveau d'entrée pour décoder correctement
- 4 : brancher un voltmètre en sortie
- 5 : régler l'offset de sortie (n°11) pour mesurer 0V en sortie
- 6 : brancher le signal à mesurer en entrée
- 7 : régler le niveau d'entrée
- 8 : régler grossièrement la fréquence centrale (mesure à l'oscilloscope)
- 9 : affiner avec le bouton n°5 jusqu'à lire 0V sur le voltmètre
- 10 : lire la fréquence de la voie sur l'afficheur du discriminateur.

Attention : la valeur lue est celle de la fréquence courante de la voie, qui n'est pas forcément la fréquence centrale.

4) Régler le filtre de sortie

La bande passante d'un canal IRIG est limitée. La table suivante indique, en fonction de la fréquence centrale, la bande passante du canal.

F0(Hz)	BP(Hz)	F0(Hz)	BP(Hz)
400	6	3000	45
560	8	3900	59
730	11	5400	81
960	14	7350	110
1300	20	10500	160
1700	25	14500	220
2300	35		

Cela signifie que tout signal sortant de cette bande ne peut être que le reflet de défauts de la chaîne de mesure. Il est donc intéressant de limiter au plus juste la bande passante de la chaîne de mesure, ce qui améliore le rapport signal à bruit. C'est le rôle du filtre de sortie. Il s'agit d'un filtre passe bas à fréquence de coupure réglable.

Par exemple, pour une voie IRIG de fréquence centrale 3900 Hz, il faut le régler à 59 Hz au maximum. Si le capteur a une bande passante plus faible (capteur de température par exemple), il faut même le régler plus bas. Choisir une valeur supérieure à 59 Hz ne ferait que ramener du bruit.

La fréquence est réglée par le commutateur n°9 et par le potentiomètre n°10. Le commutateur permet de choisir la gamme, alors que le potentiomètre permet un réglage fin. En maintenant le commutateur n°8, on visualise sur l'afficheur la fréquence de coupure choisie.

5) régler l'amplificateur de sortie

L'amplificateur de sortie permet d'adapter le signal issu du démodulateur à l'appareil de visualisation (généralement l'enregistreur graphique). Le réglage d'offset permet de choisir le point de repos du tracé ; il fixe la position sur le papier correspondant à la fréquence centrale. Son action est presque équivalente à celle du bouton de réglage de zéro sur l'enregistreur graphique. Le bouton de gain permet de régler la taille du tracé. Il pourrait être gradué en Volt par % de F0. Si tous les clubs utilisaient exactement toute la bande de +/-7,5% disponible et pas plus, il pourrait être réglé une fois pour toutes. En pratique, une marge d'étalonnage importante est prise, ce qui oblige à augmenter sensiblement le gain pour obtenir un tracé exploitable.

Dans un premier temps, appliquer à l'entrée un signal de fréquence égale à la fréquence centrale (issu de la fusée ou d'un générateur) et régler l'offset (n°11) pour obtenir un tracé au centre du papier (ou au centre de la gamme de l'appareil de visualisation). Faire varier doucement la fréquence du signal d'entrée jusqu'au maximum autorisé de part et d'autre de la fréquence centrale (cf. courbe d'étalonnage de la chaîne de télémessure que le club a forcément fourni) et régler le gain (n°13) de façon à donner l'amplitude maximale au tracé sans sortir du papier. Si la gamme exploitée n'est pas symétrique par rapport à la fréquence centrale, (donc la fréquence centrale a été mal choisie) il peut être nécessaire de réajuster l'offset.

Pour exploiter une bande magnétique après le vol, on utilise la même technique d'approximations successives en faisant défiler la bande plusieurs fois au lieu de régler la fréquence d'un générateur.

L'étalonnage entre la position du trait sur le papier et la fréquence de la voie peut être fait en appliquant avec un générateur plusieurs fréquences connues (mesurées au fréquencemètre) à l'entrée du discriminateur, et en traçant sur le papier les traits correspondants. Ne pas oublier de noter sur les traits les fréquences correspondantes. Bien sûr, il ne faut pas modifier les réglages du discriminateur (sauf éventuellement le niveau d'entrée) entre ce tracé et le décodage.

tableau des performances

Le tableau suivant résume les performances et les plages de bon fonctionnement de l'appareil obtenu. Certaines mesures manquent et devront compléter les futures éditions de ce document.

	min.	typique	max.	unité
nombre de voies décodées		1		
fréquence centrale de la voie (F0)	400		15500	Hz
excursion en fréquence	-7,5		7,5	% F0
pas de réglage de F0		0,5		%F0
tension d'entrée	7			mVcàc
gain de l'étage de sortie				mV/%F0
offset de l'étage de sortie				V
dynamique de l'étage de sortie		20		Vcàc
fréquence de coupure de sortie	0,5		1300	Hz
résistance d'entrée		10 ⁶		ohms
résistance de sortie		100		ohms
erreur de linéarité		2,3	4,5	%
erreur entre F0 demandée et F0 obtenue		0,02	1,79	%
erreur entre F0 réelle et F0 affichée		0,03		%
atténuation en entrée à F0/2 et 2F0		40		dB

en cas d'ennuis

Comme tout appareil de mesure, le discriminateur mal utilisé permet d'obtenir n'importe quel résultat à partir de n'importe quel capteur. Les paragraphes suivants peuvent aider à "interpréter" des résultats surprenants.

Vérifier que pendant tout le tracé le voyant "accroché" (n°14) reste allumé. Un voyant éteint ou clignotant indique que l'amplitude de sortie n'a aucun rapport avec la fréquence du signal d'entrée (Toutefois un voyant allumé ne garantit pas un résultat correct). Si le voyant refuse de s'allumer, vérifier le réglage de la fréquence centrale et celui du niveau d'entrée.

Si sur un système à plusieurs voies de télémessure, les amplitudes sont très différentes, le décodage des voies les plus fortes ne posera pas de problème. Le décodage des voies les plus faibles peut être difficile. Après s'être assuré de la fréquence centrale, si le voyant vert ne s'allume pas, essayer d'augmenter le niveau d'entrée, même au delà de 80%. Attention : dans ce cas le détecteur peut être sensible à une autre voie proche qui serait beaucoup plus intense. En décalant très légèrement la fréquence centrale pour l'éloigner de la voie intense la plus proche, le voyant doit rester allumé ; sinon on est en train de détecter l'autre voie et le décodage sera impossible.

Si le signal enregistré ne comporte que du bruit, en augmentant suffisamment le niveau du magnétophone et en réglant à fond le niveau d'entrée, on réussit peut être à allumer le voyant vert. L'amplificateur de sortie délivrera un signal, sans aucun rapport avec la fusée. Avant d'exploiter un signal faible, il est préférable de l'observer à l'oscilloscope pour s'assurer qu'il contient un signal exploitable.

Pour rechercher la bonne fréquence centrale, il est tentant d'utiliser le bouton de recherche (n°5). Un défaut est apparu, dont je n'ai pas encore pu déceler l'origine : en utilisant cette commande aux environs de 8600 Hz, le discriminateur se bloque. La seule solution est une coupure secteur (bouton n°1).

Si le tracé sur le papier ne bouge pas, alors que le signal d'entrée semble de bonne qualité, il faut augmenter le gain en sortie (bouton n°13). Si cela ne suffit pas, il se peut que le paramètre physique ne bouge pas (rare), ou que la chaîne de codage soit en panne et délivre une fréquence constante (moins rare).

En cas de doute sur le bon fonctionnement de l'appareil, brancher un générateur en entrée et vérifier les points suivants :

- 1) Faire varier le niveau du générateur. Le vumètre doit bouger. Régler le niveau (bouton n°4) à 80%.
- 2) Régler le générateur et la fréquence centrale à 1000 Hz. Le voyant vert doit s'allumer.
- 3) Observer la sortie avec un voltmètre. Modifier l'offset (bouton n°11) : la sortie doit bouger.
- 4) Faire varier doucement la fréquence jusqu'à 1075 Hz : la sortie doit bouger.
- 5) Modifier le réglage du gain : la sortie doit bouger.
- 6) Régler le générateur à 1200 Hz : le voyant vert doit s'éteindre

Si ces six points sont vérifiés, il y a de fortes chances que le discriminateur fonctionne correctement. Si un de ces points n'est pas satisfaisant, et après avoir vérifié qu'il n'y a pas d'erreur de manipulation, l'appareil a un problème et doit être réparé. Le confier à une personne qualifiée, équipée du manuel de maintenance. Ne pas essayer de le réparer sur le vif d'une campagne.

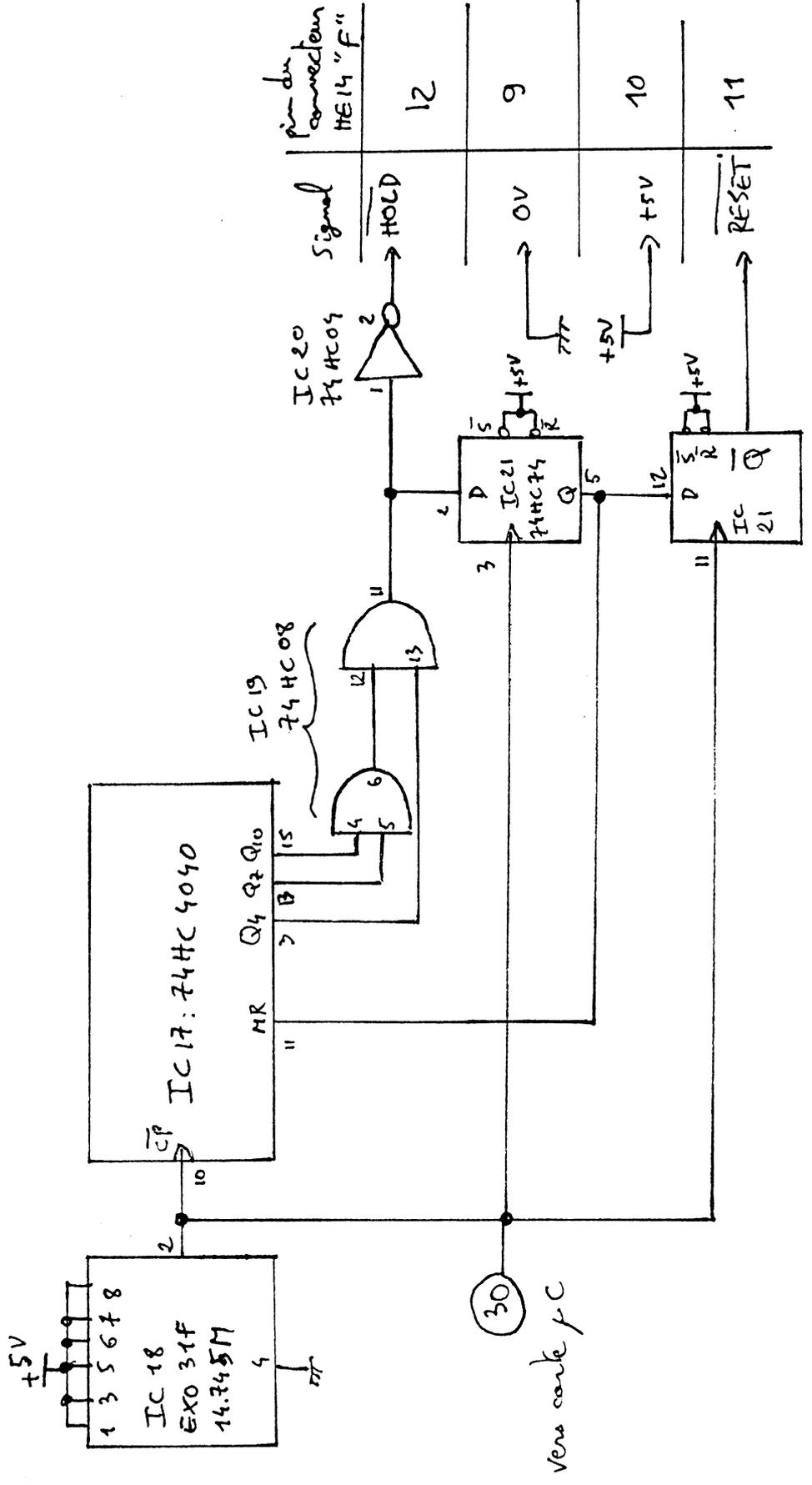
La seule réparation tolérable à chaud est le changement du fusible secteur. Il doit être remplacé si rien ne s'allume (même pas le voyant de l'interrupteur secteur) après avoir vérifié la prise murale et l'état du cordon. Un fusible de rechange se trouve dans la prise au dos de l'appareil. Débrancher le cordon d'alimentation avant d'intervenir.

Décodeur de télémesure IRIG

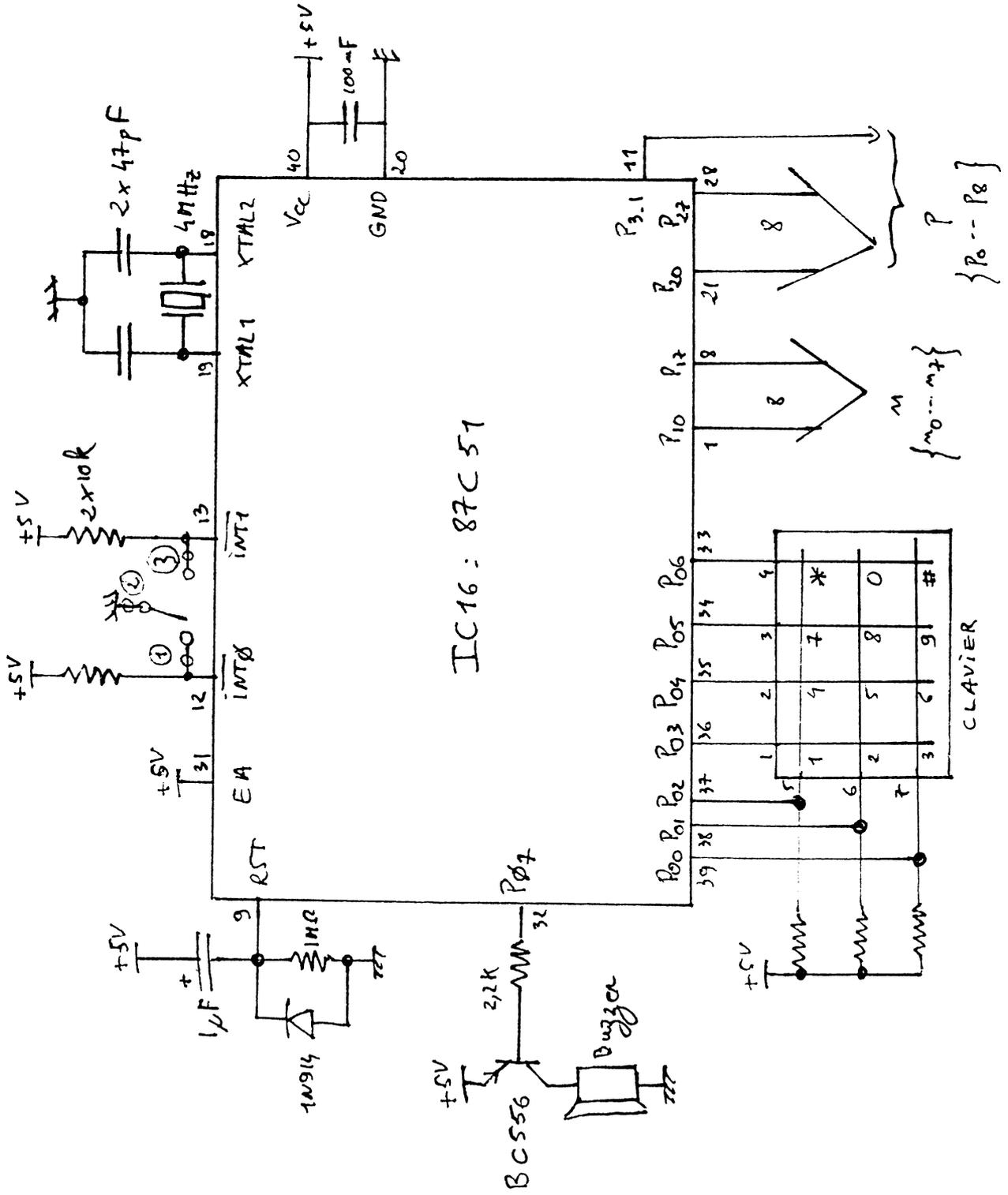
3 : Manuel de maintenance

CARTE μ C: GESTION DU FREQUENCE METRE

Annexe 1



CARTE LC : GESTION DU CLAVIER



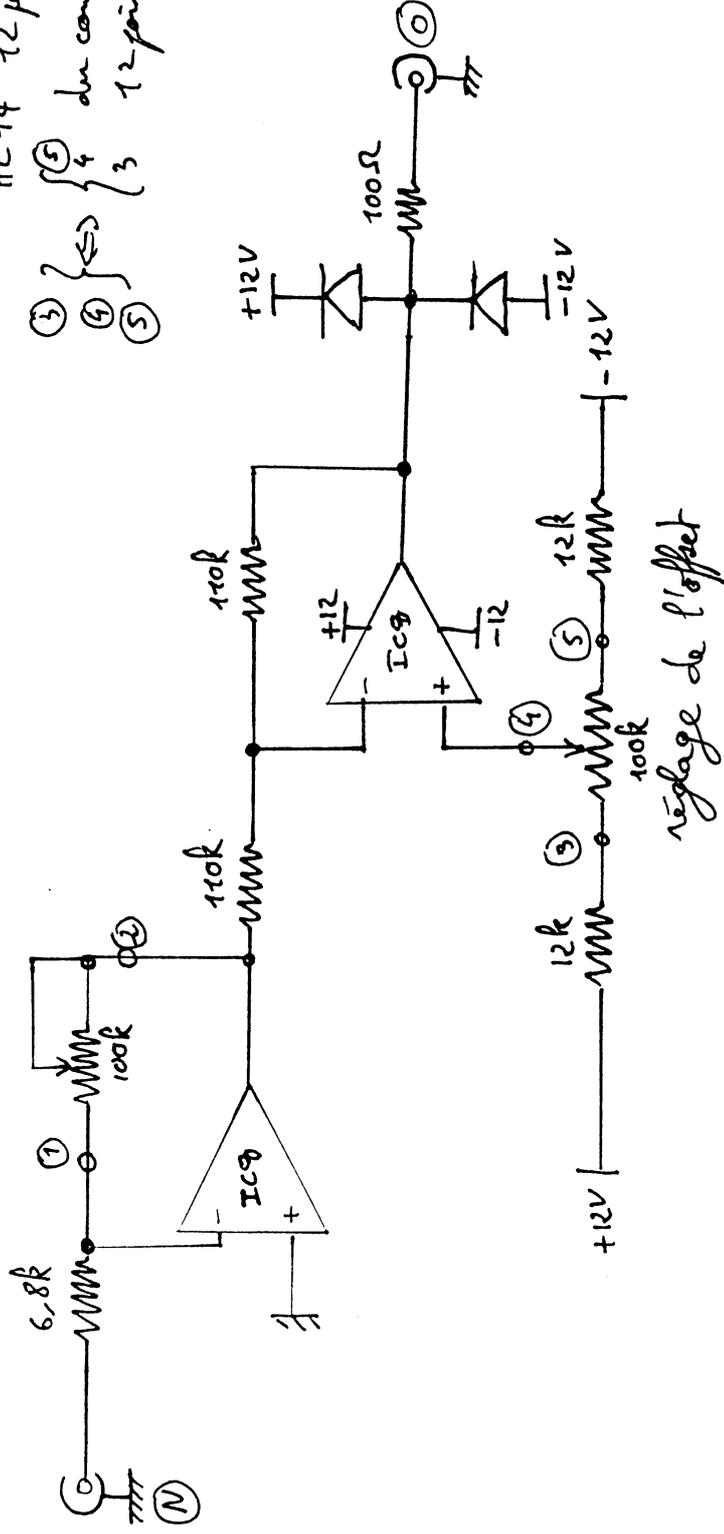
pin clavier	pin connecteur HE14 "C"
1	6
2	5
3	4
4	3
5	2
6	1
7	7
Repères	
①	10
②	9
③	8

CARTE ENTREE/SORTIE: AMPLIFICATEUR DE SORTIE

IC9: MC34082 ou TL072
résistance à 5%

- ① et ② : pins 9 et 10 du connecteur HE 14 12 points "V"
 ③ } ④ } ⑤ } du connecteur HE 14
 ③ } ④ } ⑤ } 12-pins "V"

Réglage du gain



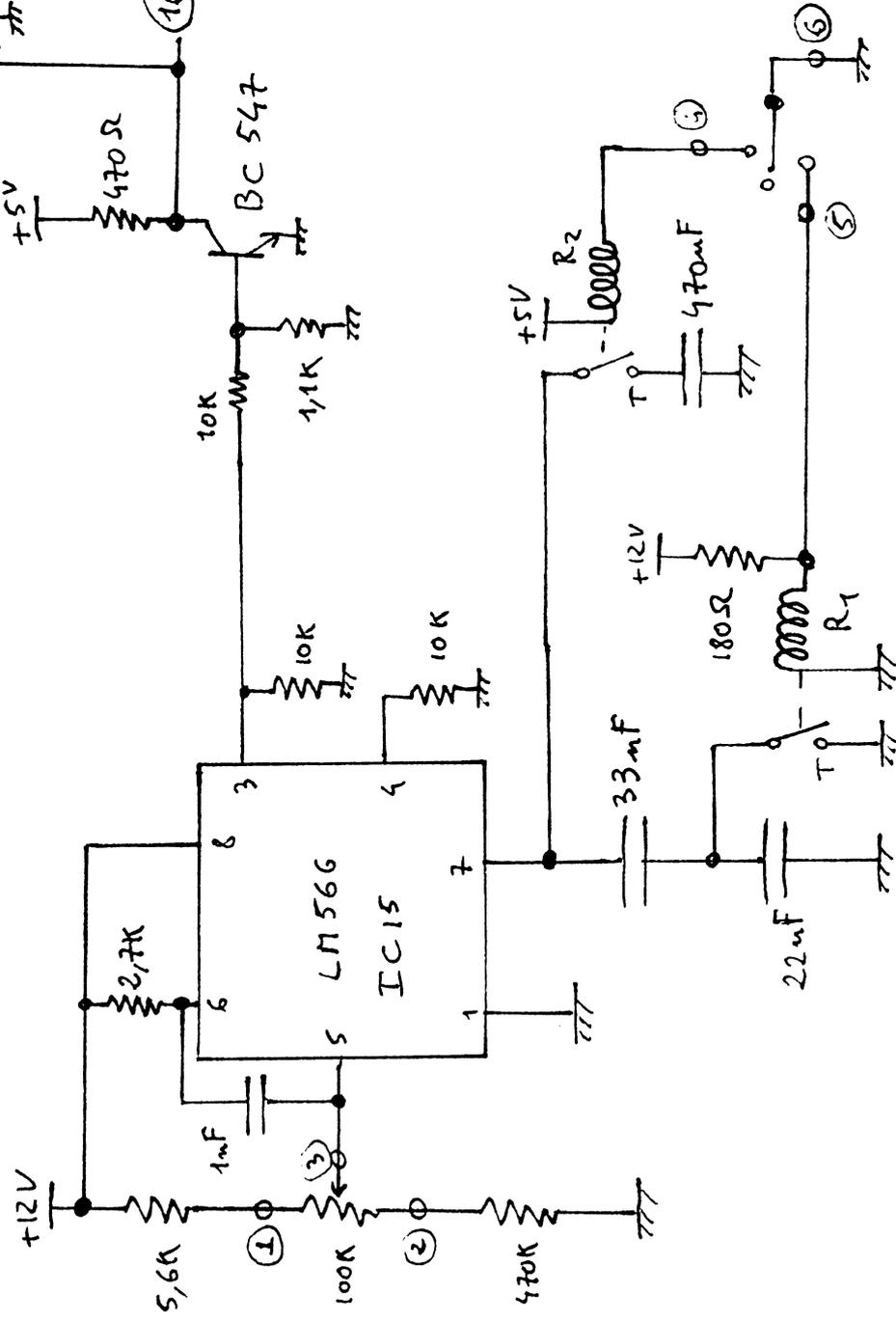
réglage de l'offset

- ④ embase sub-die: signal en provenance de la carte "filtres"
- ⑤ embase sub-die: sortie: à relier à la BNC "SORTIE" en face avant.

CARTE FILTRES : OSCILLATEUR

R_1, R_2 : relais CLARK PRMA 2A0S
résistances à 5%

emboîse sub-cite
sortie vers fréquencemètre

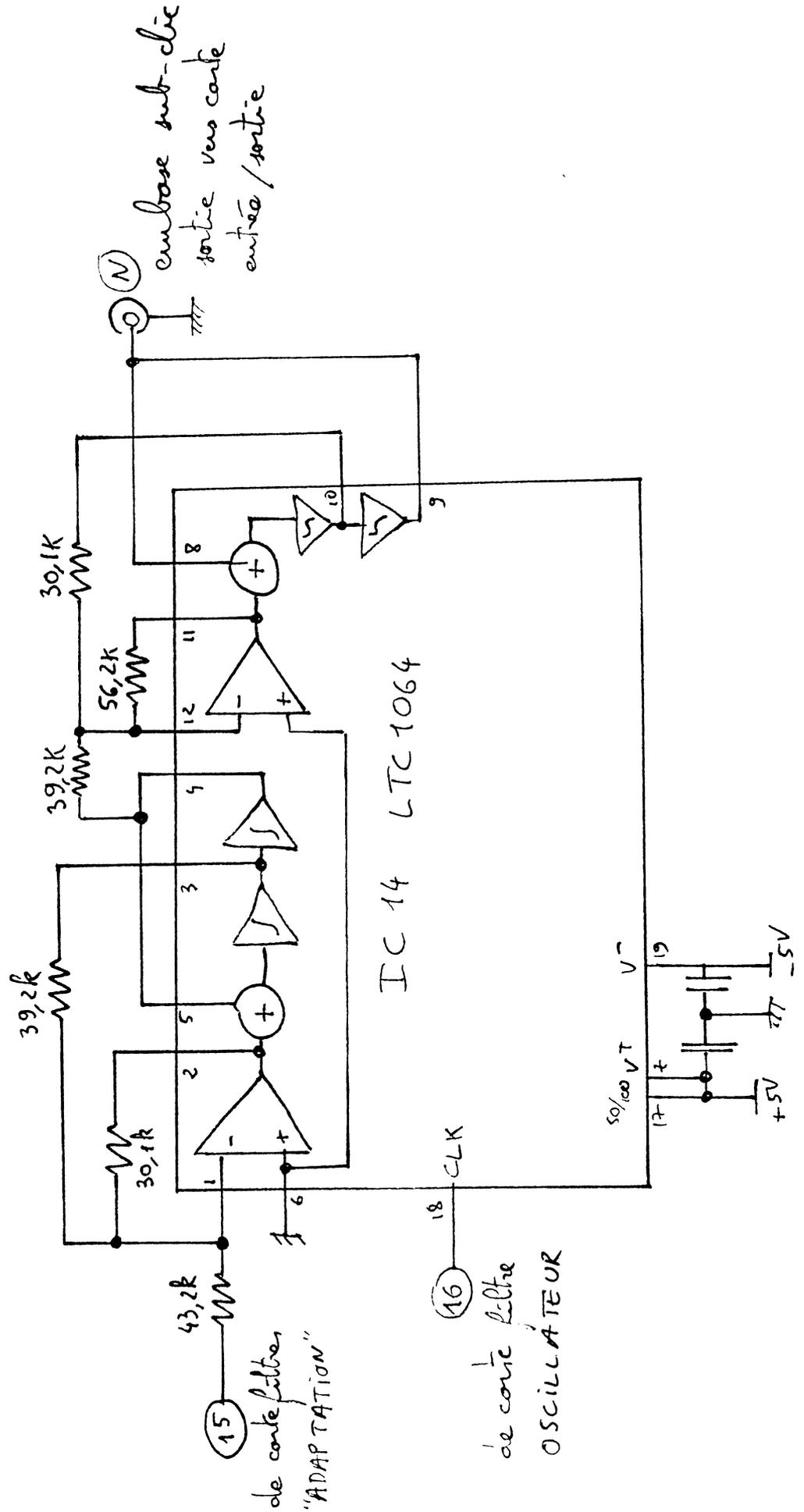


vers carte filtres
Filtre anti-bruit

① → pin 3 } du connecteur
② → pin 1 } HE14 "P"
③ → pin 2 }

④ → pin 6 } du connecteur
⑤ → pin 5 } HE14 "P"
⑥ → pin 4 }

CARTE FILTRE : FILTRE ANTI-BRUIT



embase sub-die
sortie vers carte
entree / sortie

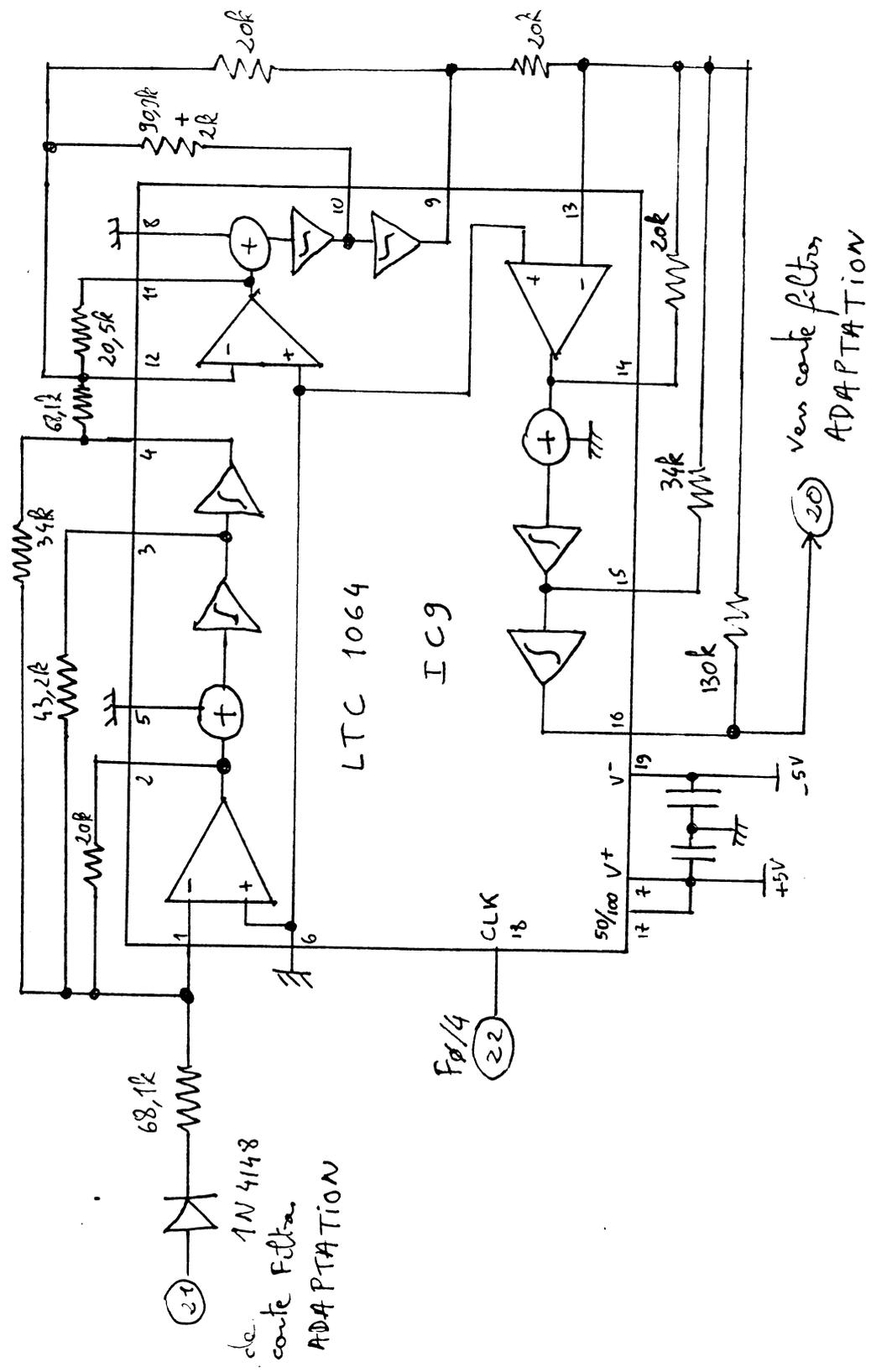
IC 14 LTC1064

15 de carte filtres
"ADAPTATION"

16 de carte filtre
OSCILLATEUR

50/100 V T V-
17 +5V
19 -5V

CARTE "FILTRES" : DETECTEUR

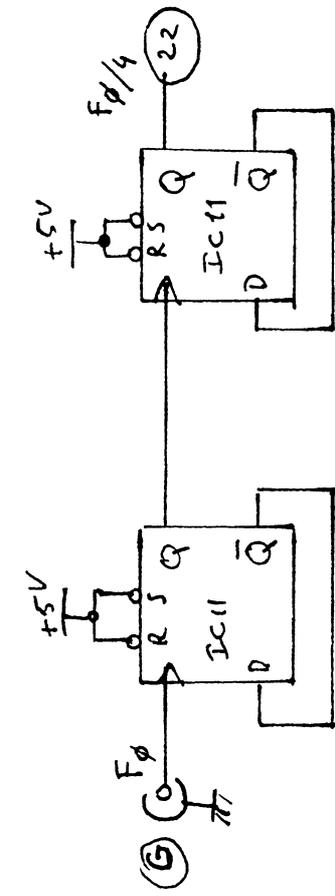
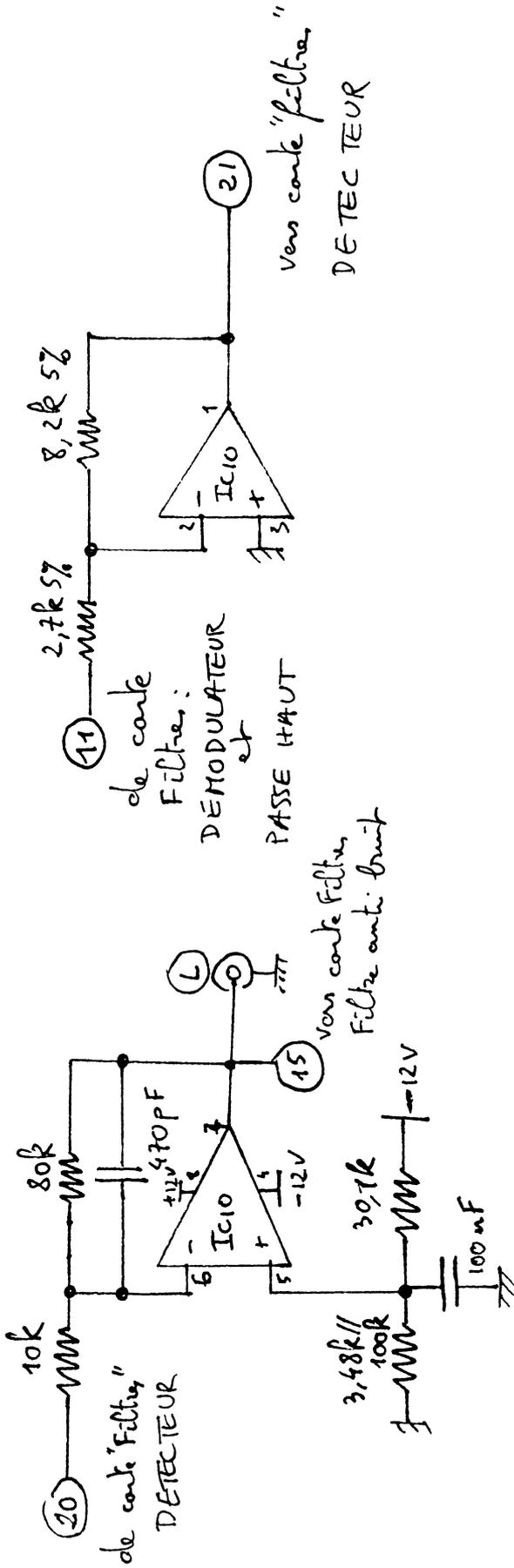


de. 1N4148
carte Filtrage
ADAPTATION

Vers carte filtres
ADAPTATION

CARTE "FILTERS"

ADAPTATIONS



IC10: MC 34082 ou
TL 072
IC11: 74HC75

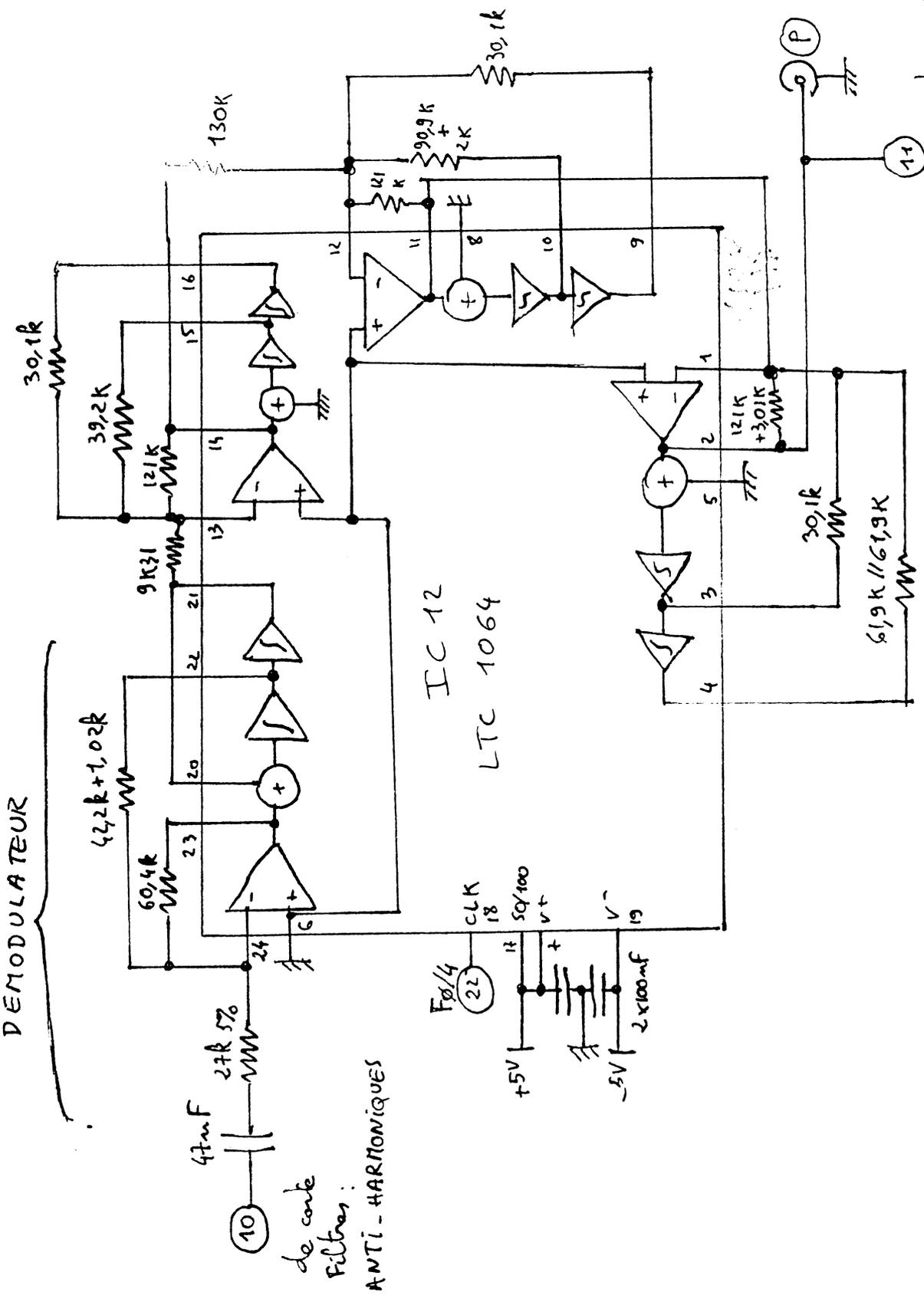
ⓐ: embase sub-clie
entree horloge
depuis carte P.P

Ⓛ: embase sub-clie
point test
sortie avant le filtre
anti bruit

resistance à 1% sauf mention contraire

CARTE FILTRES : DEMODULATEUR et MASSE HAUT

DEMODULATEUR

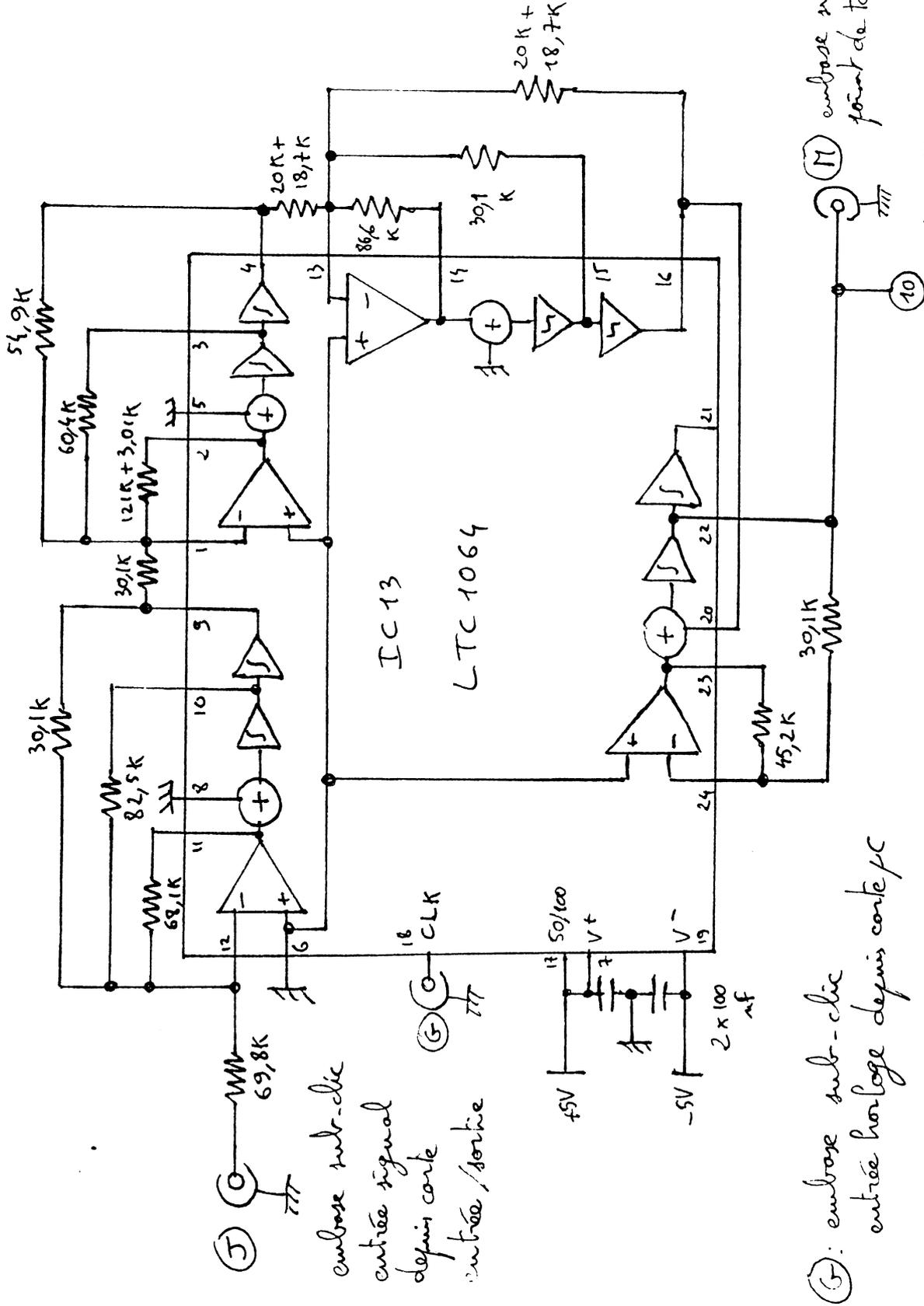


de carte
Filtres :
ANTI-HARMONIQUES

embase sub-die
point de test

Vers carte filtres
"ADAPTATION"

CARTE FILTRES: FILTRE ANTI-HARMONIQUES



(J) embrose sub-clk
 entrée signal depuis carte
 entrée / sortie

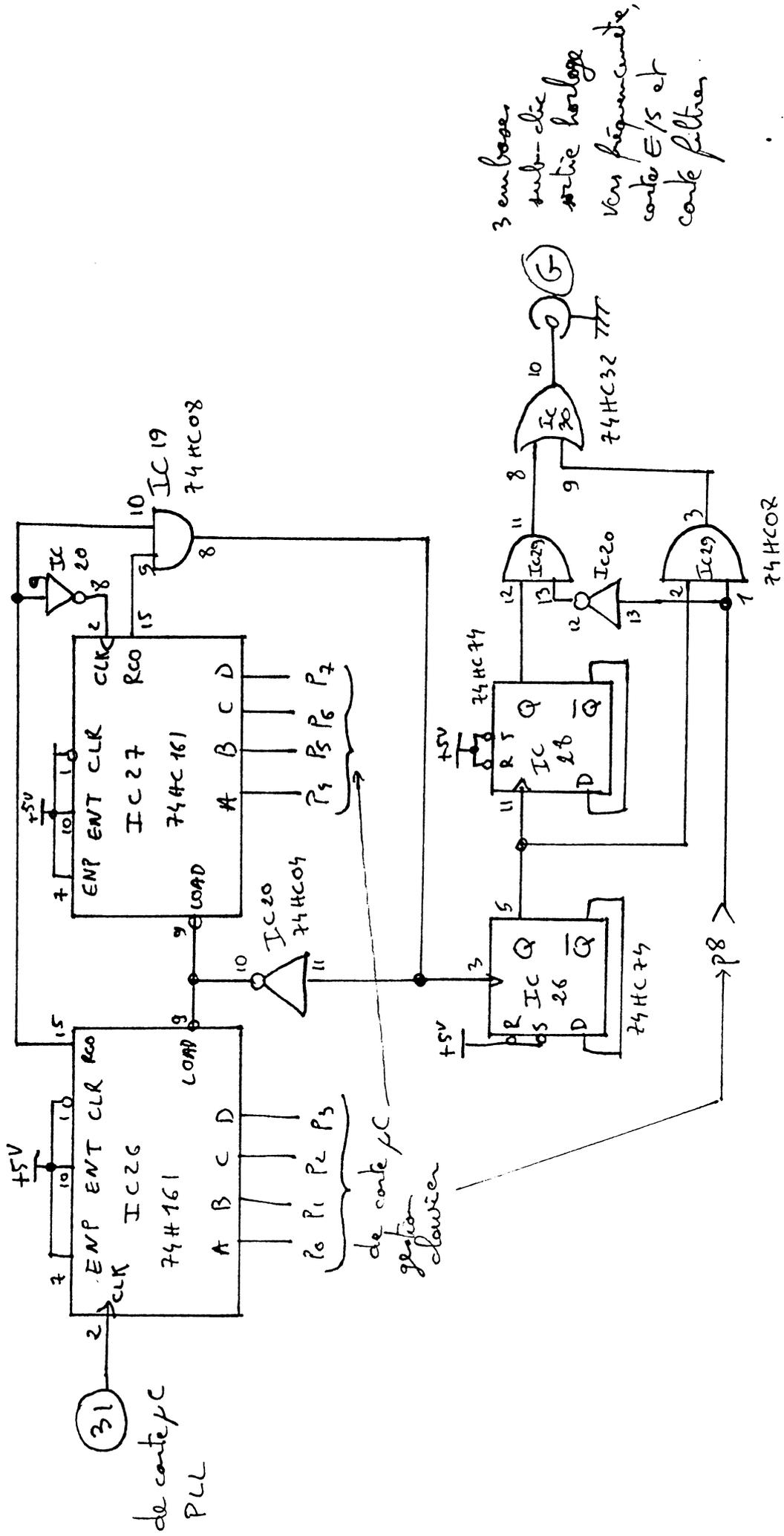
(G) embrose sub-clk
 entrée horloge depuis carte PC

résistances à 1%

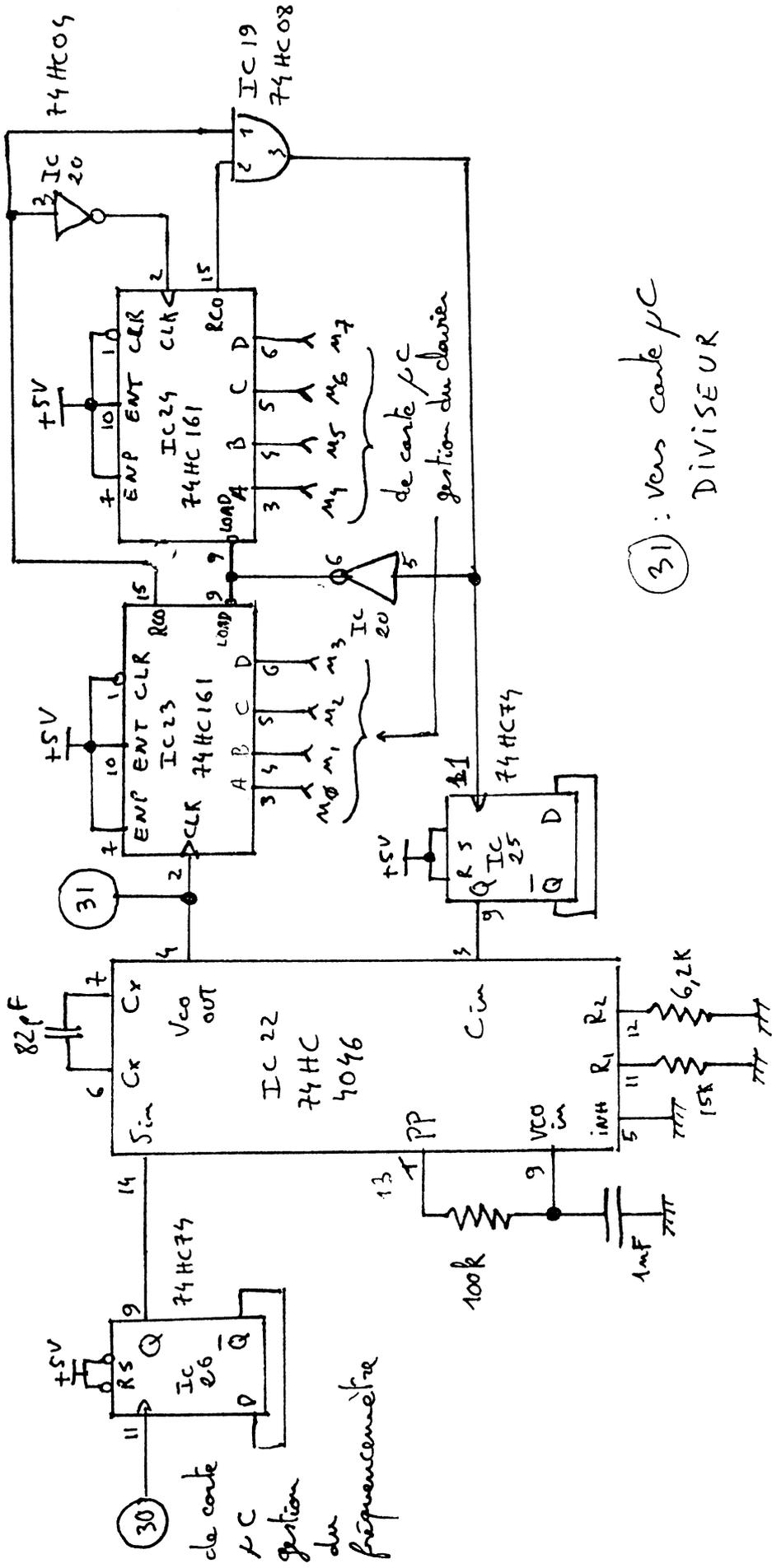
(M) embrose sub-clk
 point de test

Vers carte Filtrage
 DEMODULATEUR
 et PASSE - HAUT

CARTE µC : DIVISEUR



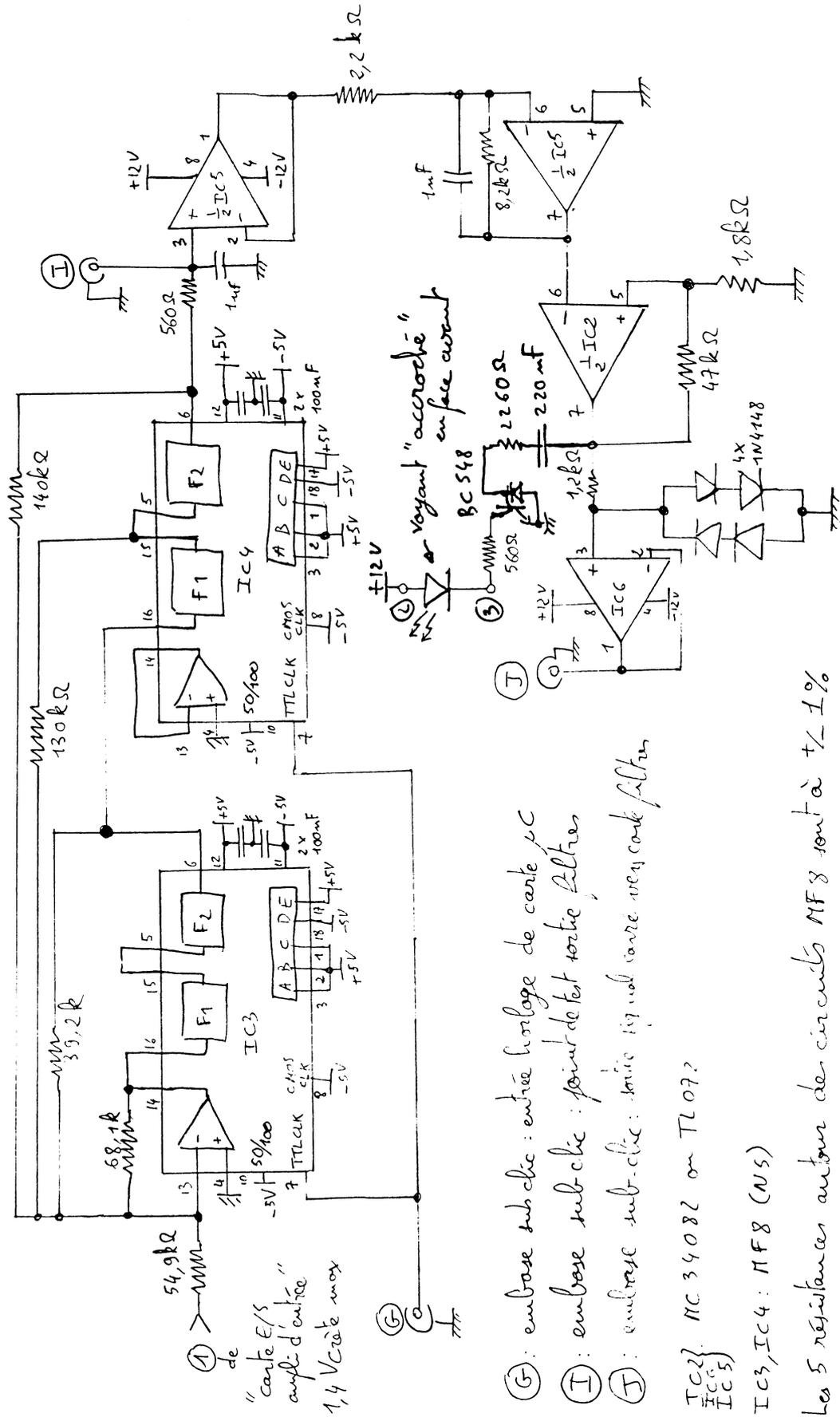
CARTE μ C: PLL et MULTIPLIEUR



(31) : Vers carte μ C
DIVISEUR

(30) de carte μ C gestion du fréquence

CARTE ENTREE / SORTIE : FILTRE de SELECTION DE CANAL et TRIGGER



① "carte E/S ampli d'entree" 1,4 V crête max

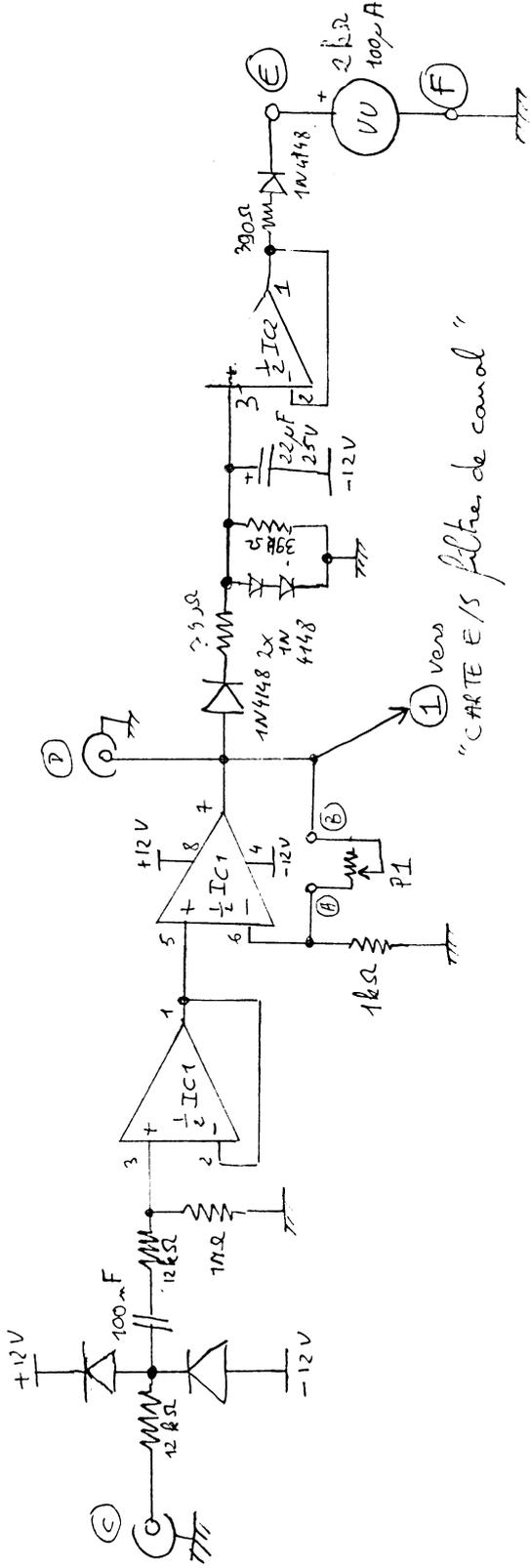
- ② embase sub-chic : entrée horloge de carte PC
- ③ embase sub-chic : point de test sortie filtres
- ④ embase sub-chic : sortie sig. val. carte mes. card. filtres

IC2 } MC 34082 ou TL07?
 IC3, IC4 : MF8 (NS)
 IC5

Les 5 résistances autour des circuits MF8 sont à $\pm 1\%$

② } 12 du connecteur HE14 12 pts "V"
 ③ } 11

CARTE ENTREE / SORTIE : ampli d'entrée



(A) et (B) : pins 1 et 7 du connecteur HE14 12 points "V"

P1 : potentiométrique de 22kΩ réglage du niveau d'entrée en face avant

(C) : embase sub-clic : entrée du signal, reliée à la BNC "ENTRÉE" en face avant

(D) : embase sub-clic : point à c test

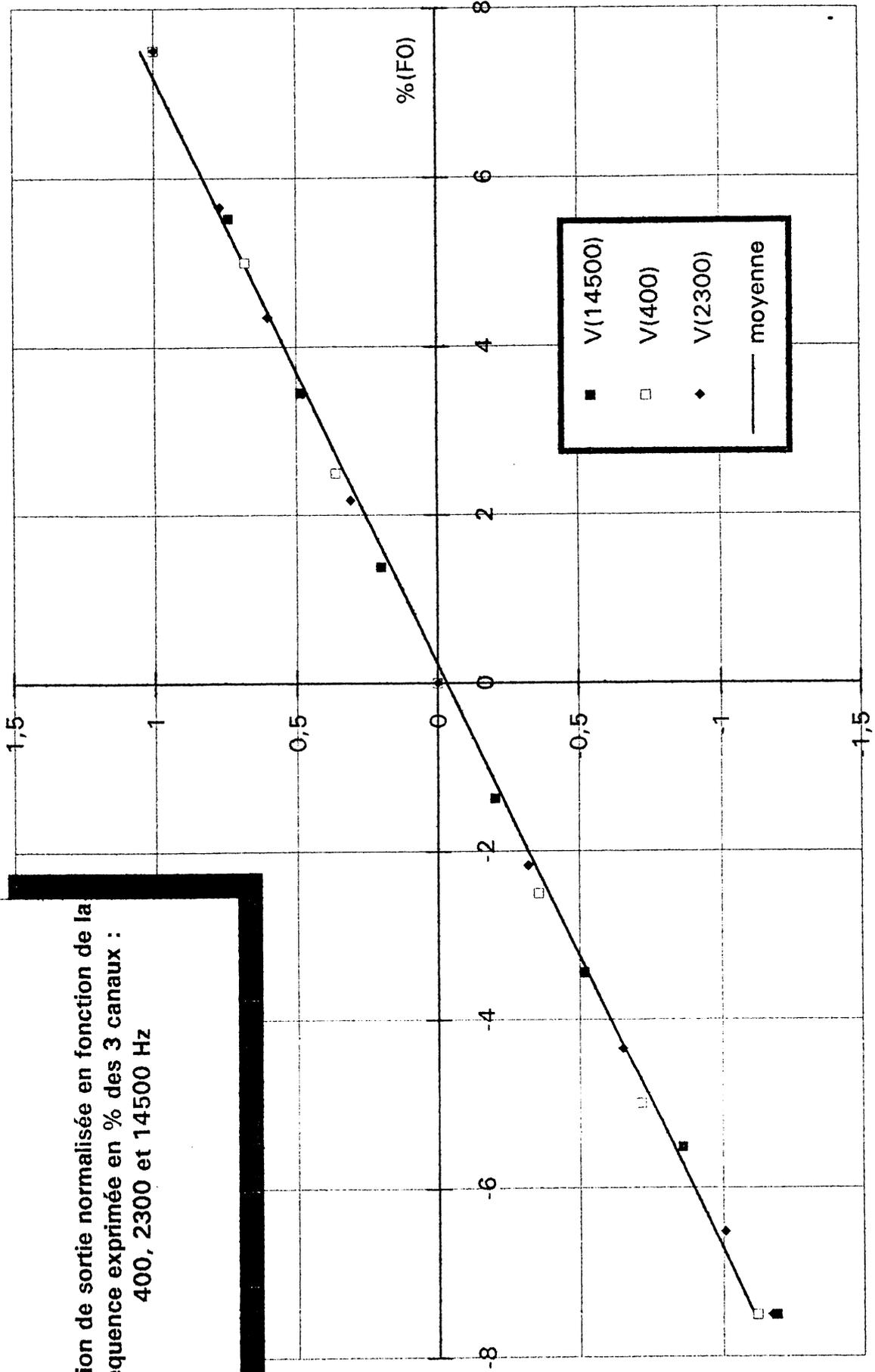
(E) et (F) : pins 3 et 8 du connecteur HE14 12 points "V"

IC1, IC2 : MC34082 ou TL072

Vu : vu mètre en face avant, ampèremètre 100 μA

(1) vers "CARTE E/S filtre de canal"

Tension de sortie normalisée en fonction de la
fréquence exprimée en % des 3 canaux :
400, 2300 et 14500 Hz



canal 2300Hz : tension de sortie normalisée en fonction de l'écart à la fréquence centrale

