



Présentation télémesure

Par Jean Louis Rouvet



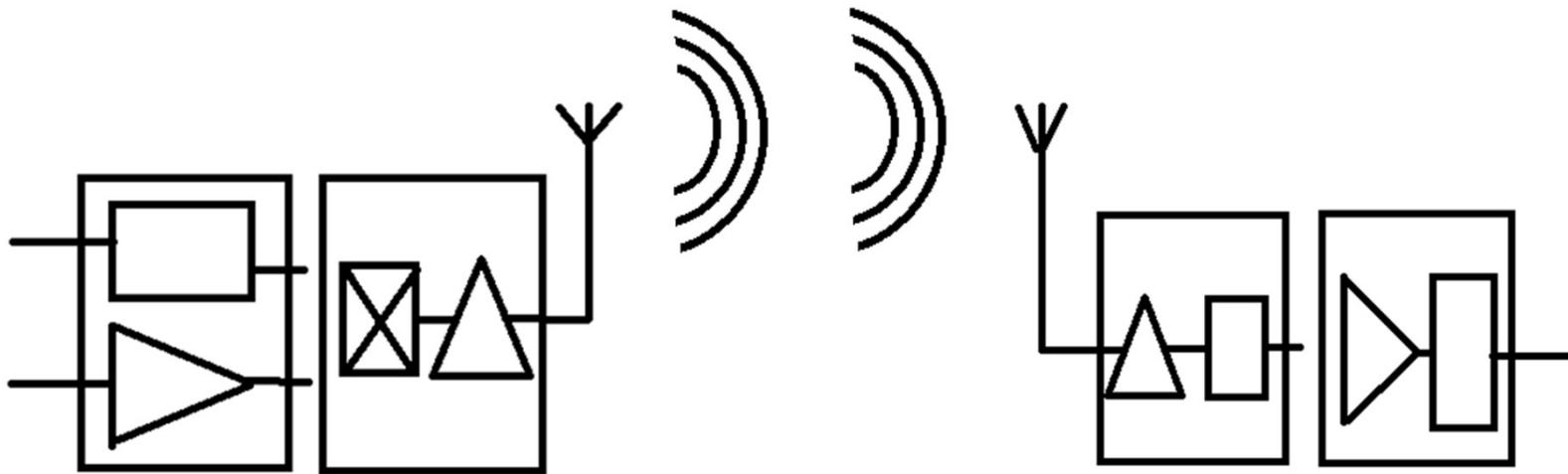
La télémessure est un moyen qui consiste à permettre la lecture de mesures à distance.

Dans ce vaste concept nous ne connaissons bien et ne traitons que la partie utilisant des moyens de mesures sans fils. Parmi les moyens de transmission sans fils notre expertise se réduit aux moyens industriels utilisant une liaison radio.

Ce qui suit traite essentiellement de ces moyens radio en sélectionnant les systèmes que nous connaissons le mieux et qui nous semblent les plus efficaces.



Constitution d'un système de télémessure



Conditionnement et
amplification

Modulation
Codage
émission

émetteur

Réception
Démodulation
Décodage

Mise à l'échelle
Filtrage

Récepteur



L'information à transmettre est transformée en un train d'ondes électromagnétiques qui va se propager dans l'espace

À savoir successions d'impulsion
Ou signal sinusoïdal

Et que transmettent ces trains d'ondes ?

- Une modulation d'amplitude ou
- Une modulation de fréquence

Modulation analogique à porteuse sinusoïdale
U1 à transmettre, le signal auxiliaire ou porteuse
 $U_p(t) = U_p \cos \omega_p t = U_p \cos 2\pi f_p t$

Pour l'antenne $U_p t$ modifié par la tension U1(t) soit U2(t)
U2 n'est pas sinusoïdal $U_2(t) = U_2(t) \cos [\varphi_2(t)]$

U1 agit sur U2(t) modulation d'amplitude
Sur f modulation de fréquence
Et sur φ modulation de phase



C'est à partir de ces bases que le concept télémesure va être élaboré en sachant que la modulation directe d'une porteuse signifie que cette porteuse sujette à des perturbations verra le signal mesure perturbé. Pour cette raison les signaux mesures sont mis en forme et protégés avant la transmission.

Après conditionnement et avant transmission il existe donc une phase de mise en forme des signaux.

Il convient de se souvenir qu'il existe deux technologies majeures :

- Le numérique
- L'analogique

Dans les deux cas une erreur ou un parasite au niveau du conditionnement se retrouve en sortie du récepteur, soit dissimulé derrière la numérisation, soit visible



Des moyens de transmission radio différents

Les différentes technologies

- Bluetooth, WiFi, ZigBee, propriétaire
- Modems RS 232 etc ...
- Pseudo PCM
- PAM
- PDM
- PCM
- FM
- FM / FM

Les Bluetooth, WiFi etc ... sont conçus pour du point à point ou des réseaux les systèmes propriétaires pour les réseaux.

Le RS passe maintenant, en différé par, par exemple, les moyens ci-dessus.

Les Pseudo PCM codent un analogique classique pour le transmettre et le démoduler.

PAM, PDM et PCM sont les moyens numériques efficaces et coûteux.



PDM : modulation de durée d'impulsion

PAM : modulation d'amplitude de l'impulsion

PCM : modulation du code d'impulsion

Le premier concept est plus utilisé pour des codages simplistes aidant au développement d'horloges dites PDM.

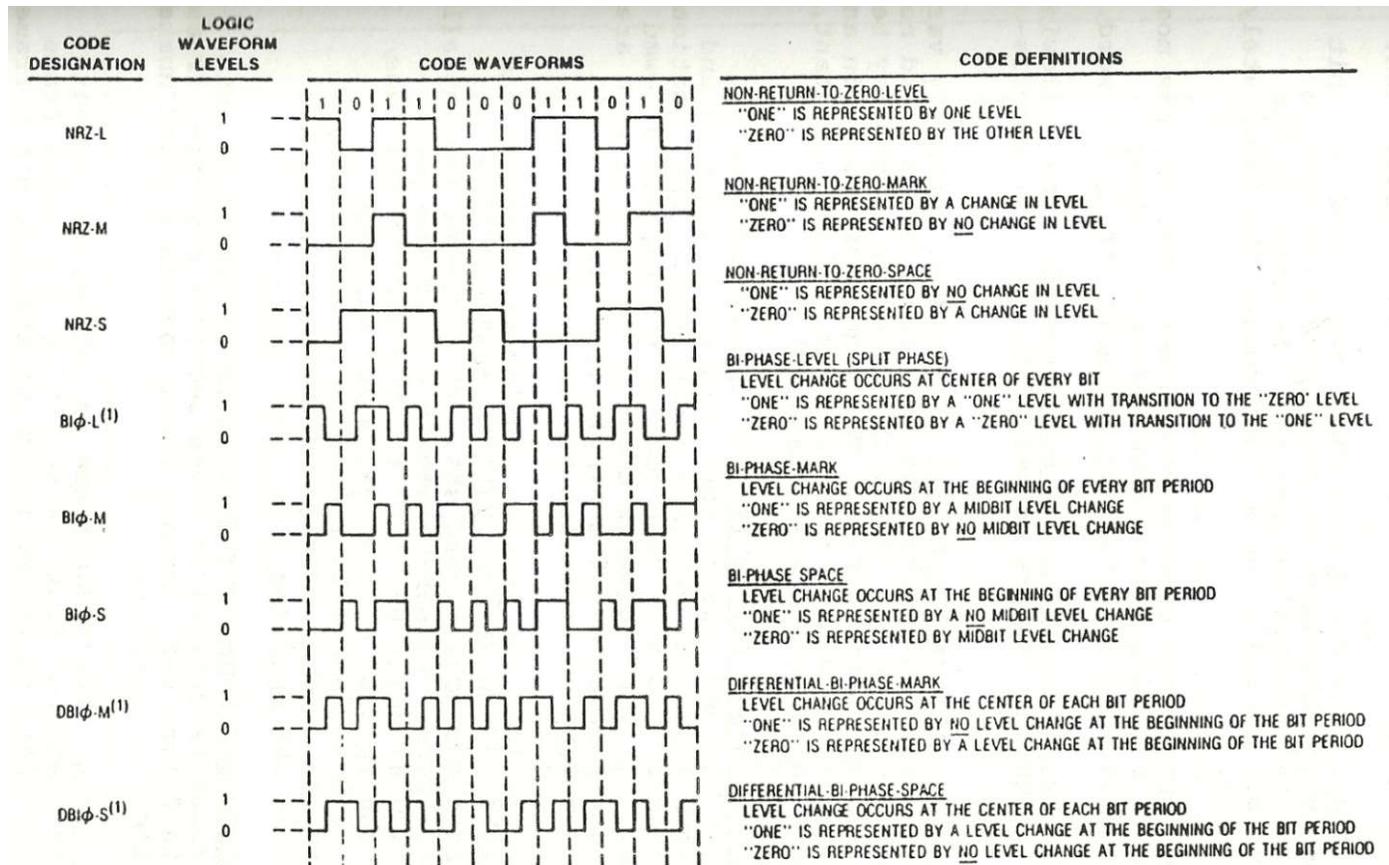
La modulation d'amplitude existe toujours mais n'est pas très utilisée.

Le PCM est utilisé pour les télémesures spatiales et militaires ou un grand nombre de voies, de larges bandes passantes sont indispensables

Le PCM est coûteux et ceci plus particulièrement parce que les horloges de calage des mesures sont complexes.



Exemple de codage PCM



⁽¹⁾ These codes may be derived from the corresponding NRZ codes by inverting the level for the last half of each bit interval



La modulation de fréquence :

L'amplitude de la porteuse est constante, $U_1(t)$ agit sur la fréquence de la porteuse

$$F_z(t) = f_p + \Delta f(t) \gg \Delta f(t) = U_2(t)$$

$$U_3(t) = U_p \cos [2\pi V]$$

$$\mu_z(t) = U_p \cos [2\pi f_p t + 2\pi V \int U_2(t) dt]$$

$$\text{Si } U_1(t) = U_1 \cos \omega_1 t$$

$$U_2(t) = U_p \cos [2\pi f_p t + 2\pi V \cdot U_1 / \omega_1 \cdot \sin \omega_1 t]$$

$$U_z(t) = U_p \cos [2\pi f_p t + \Delta f / f_1 \sin \omega_1 t]$$

L'émetteur, de petit volume, intègre :

- Conditionneur (s)
- Broches de réglage de gain
- Sous porteuse(s)
- Emetteur

Le récepteur visualise la réception,
Démodule et restitue la ou les tensions
Analogiques.





Modulation FM : le concept consiste à moduler la porteuse directement avec le signal mesure et ceci n'est pas souhaitable tout comme la modulation AM directe.

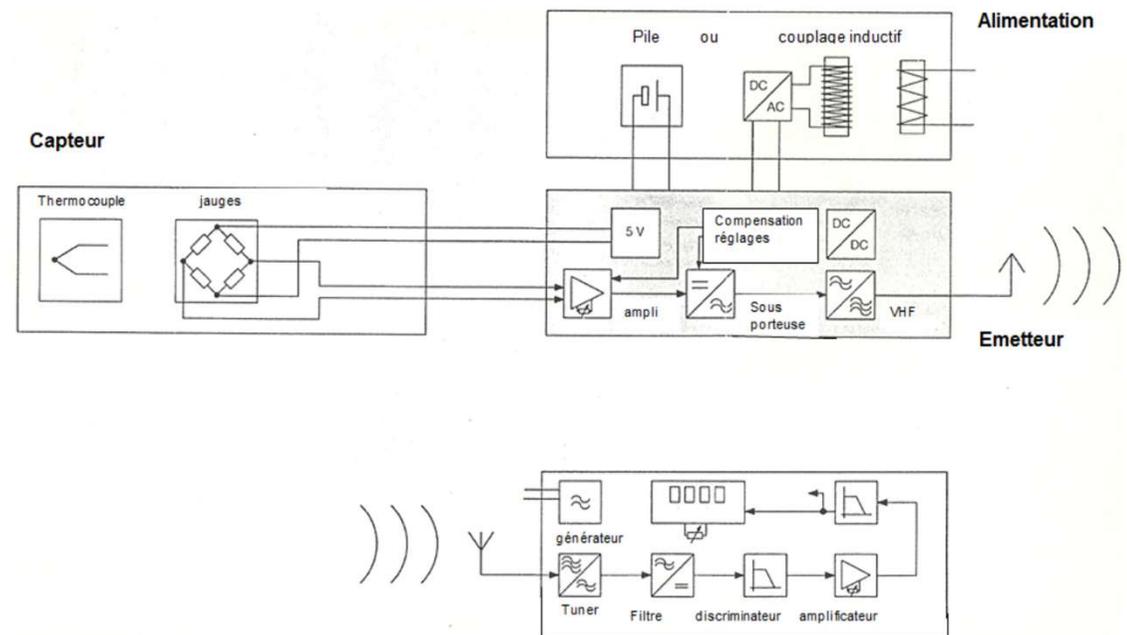
La double modulation et plus particulièrement la modulation FM / FM permet de réaliser des moyens analogiques efficaces.

Bien que nous puissions réaliser des moyens de transmission numériques et plus particulièrement des PCM utilisant une horloge plus simple que celle des systèmes coûteux (notre horloge PDM), nous privilégions pour les télémesures sur machines tournantes l'analogique FM / FM



Système monovoie FM /FM

- Alimenté par piles
- Ou induction
- Le capteur est conditionné
- Converti en fréquence
- Puis la fréquence module la porteuse
- Le tuner capte la porteuse
- Un filtre passe bande retrouve la sous porteuse
- Qui est traduite en tension
- Puis filtrée ou non pour affichage ou sortie analogique





Porteuse FM

- La porteuse choisie dans la plage 150 à 300 MHz n'est pas directionnelle
- La puissance de 5 mW permet une transmission sur plus de 10 mètres
- Cette porteuse permet de transporter jusqu'à 8 voies de mesure.

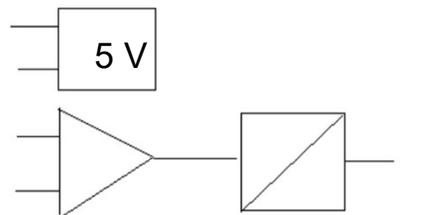
- Il est possible d'utiliser, dans un même lieu et à proximité les uns des autres plusieurs émetteurs, dans ce cas les fréquences porteuses seront différentes, par exemple : porteuse 1 calée à 200 MHz, porteuse 2 à 230 MHz etc ...

- Les émetteurs seront en phase les uns avec les autres et les voies des différents émetteurs seront-elles aussi en phase.

- La plage 150 à 300 MHz est utilisable de plein droit sous réserve d'une puissance d'émission limitée, les 5 mW permettent cette conformité.

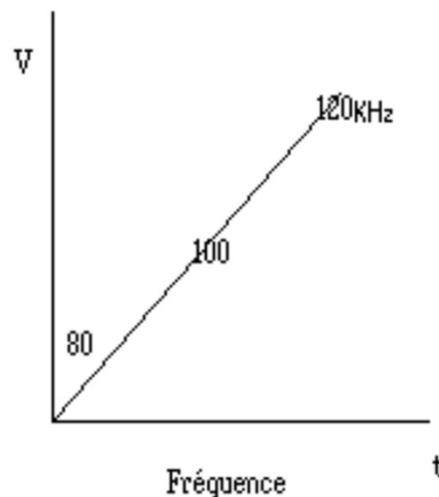


La mesure au niveau de l'émetteur



Amplificateur différentiel

Sous porteuse



L'émetteur alimente éventuellement le capteur avec une tension 5 V régulée.

L'amplificateur différentiel prend en charge la tension de sortie du capteur et compense, éventuellement la soudure froide pour un couple thermoélectrique.

Le signal amplifié est converti en fréquence dite de sous porteuse qui module alors la porteuse de transmission entre émetteur et récepteur.

Une sortie capteur 0,000 sera traduite en 100 KHz, une sortie pleine échelle moins en 80 KHz et pleine échelle plus en 120 KHz.



En imaginant une échelles de mesure de 0 à 100 °C, 1 °C sera représentée par 1,2 KHz puisque zéro = 100 KHz et Pleine échelle = 120 KHz.

Imaginons qu'un autre capteur soit calé, pour zéro à 101,2 KHz et que rien ne puisse-être fait pour reprendre le zéro vrai. Le nouveau zéro est alors virtuellement de 1,2 KHz.

S'il est possible de régler le zéro à partir du capteur, l'écart sera réduit voire éliminé, sinon la valeur de zéro sera arbitrairement décalée.

Pour un puriste le vrai zéro sera la valeur de fréquence, pour un mesureur ' la triche ' fera que zéro n'est pas réellement le zéro capteur.

Ceci a valeur également pour le gain ou l'émetteur est tributaire du réglage de gain ou d'une résistance externe qui, malgré son excellente précision fera apparaître un décalage.

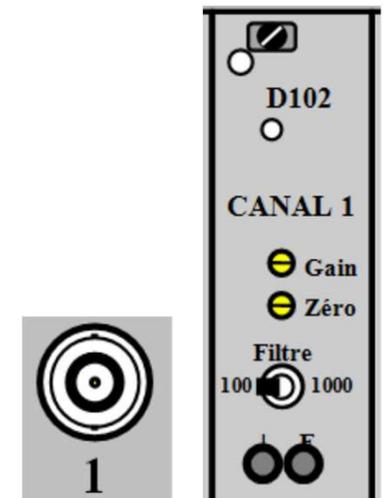


Au niveau du récepteur la valeur vrai ou valeur de sous porteuse est accessible sur le jack F en bas à droite et la valeur de tension, image de la valeur de sous porteuse transmise, est disponible sur la BNC en face arrière.

Cette sortie sur la BNC peut-être réglée, pour les 1,2 KHz représentant 50 mV sur l'échelle 5 V, le potentiomètre de zéro permettra d'affirmer que cette sortie est de 0,000 mV. Pour le gain qui ne sera pas forcément à 120 KHz le potentiomètre récupérera les quelques mV représentant le décalage en KHz.

Un véritable étalonnage permettra de caler les valeurs réelles de zéro et de pleine échelle puis de tracer la courbe pour déterminer linéarité et hystérésis au plus près de la mesure.

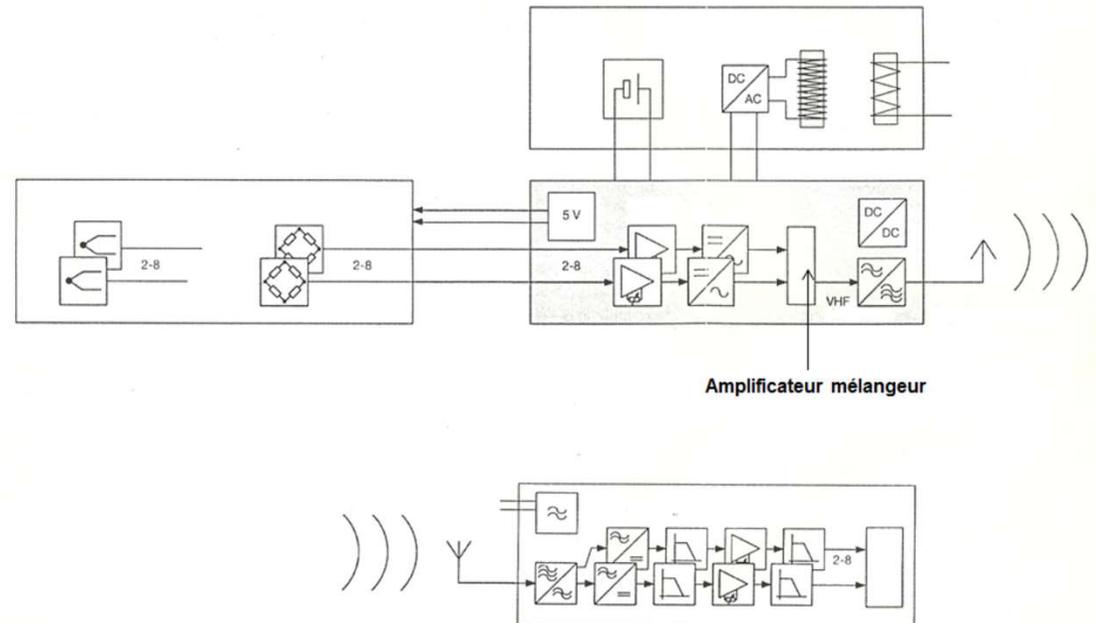
Contrairement aux capteurs liés par câbles aucune action ne peut-être réalisé à partir du récepteur sur l'émetteur.





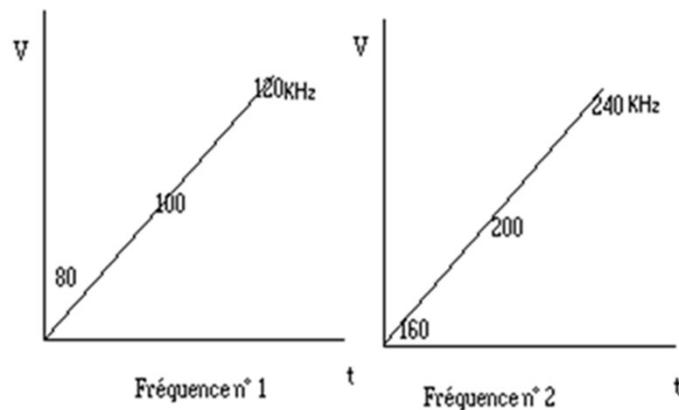
Systeme de télémessure multivoie : en transposant le concept du monovoie il est possible de réaliser un multivoie jusqu'à 8 mesures.

La différence réside dans un conditionnement individuel pour chaque voie puis une conversion tension fréquence individuelle en séparant chaque fréquence de sous porteuse. Un amplificateur mélangeur constitue un vrai multiplex de fréquence et les voies sont transmises simultanément sur la porteuse.





Par exemple pour 2 voies pont de jauges, en imaginant que chaque pont soit équilibré les sorties seront de 0 V sur chaque voie. En voie 1 zéro Volt donnera 100 KHz et en voie 2 : 200 KHz, les fréquences mélangées moduleront une porteuse à 200 MHz.
Les deux voies seront alors transmises simultanément.



2 sous porteuses transmises simultanément

L'intérêt est de permettre une large dynamique, bande passante de 1 KHz pour 8 voies sans décalage de phase entre les voies.

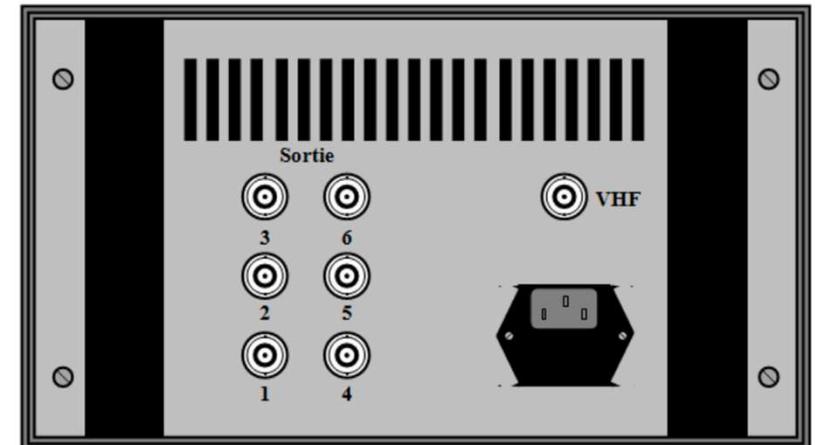
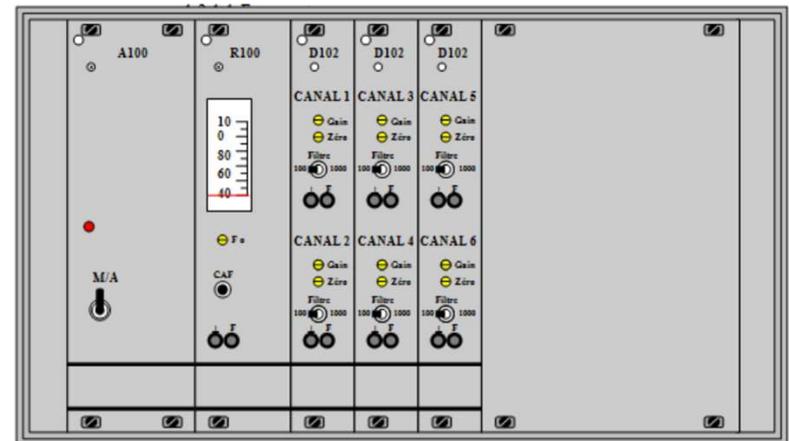
Accessoirement il n'existe pas non plus de décalage de phase entre deux émetteurs puisque la transmission est totalement analogique.



Ci-contre les faces avant et arrière d'un récepteur 6 voies.

Le tiroir de gauche est utilisé pour l'alimentation, le suivant est le tuner FM puis les 3 autres sont des tiroirs 2 voies de discriminateurs

En face arrière l'entré antenne VHF et les 6 BNC pour la récupération de chaque voie de mesure





Tenue à l'environnement



Température : - 40 °C à + 120 °C pour l'émetteur



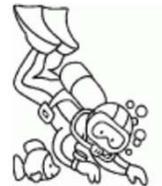
Humidité : 90 % RH sans ruissellement



Chocs et accélération :



- Chocs 25 000 g et plus
- Accélération centrifuge 25 000 g à 100 000 g
- Possibilité de fonctionnement sous l'eau avec boîtier étanche
- Possibilité ATEX avec boîtier de protection.





Des systèmes classiques et miniatures

6 voies température



Emetteur ruban



2 voies jauges



Monovoie classique



6 voies température



1 voie accéléromètre

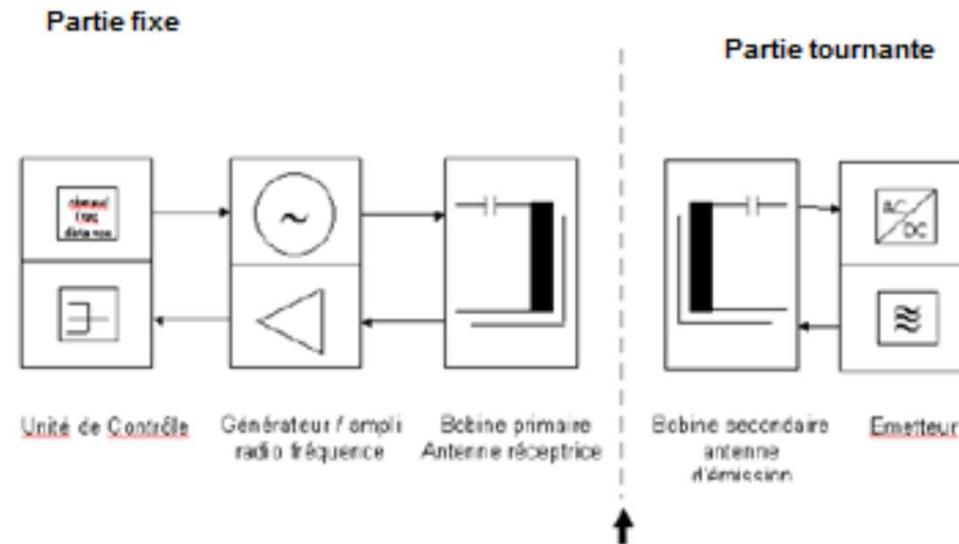


Alimentation

- Piles
- Ou induction

L'alimentation inductive consiste en un transformateur
Dont l'entrefer est représenté par l'air

Lithium 9 Volt





Applications :

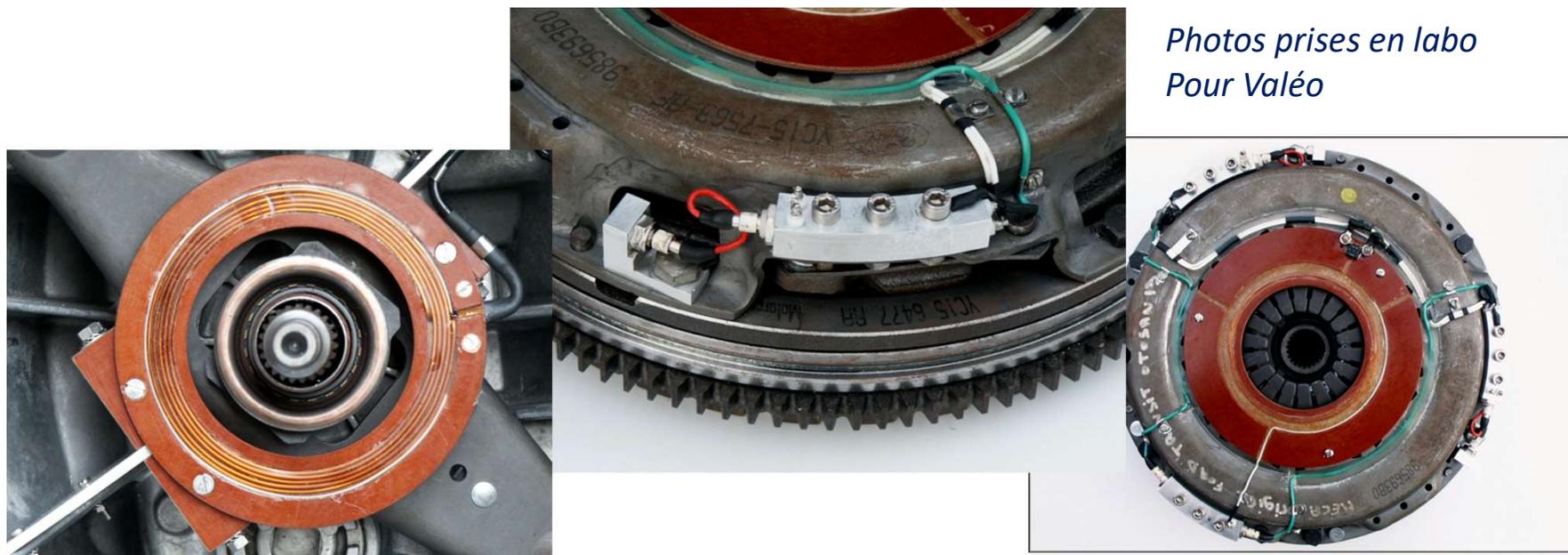
Le cliché représente deux émetteurs de télémesure monovoie jauges. Derrière les anneaux dans leurs enveloppes métalliques il est possible de distinguer les secondaires inductifs. Le parallélépipède contient à la fois le primaire inductif et l'antenne de réception.

Photos de labo pour Clextral





Mesure d'accélération sur une cloche d'embrayage, le cliché du milieu montre l'émetteur, à gauche l'ensemble tournant et, à droite, le primaire inductif. L'ensemble utilise deux accéléromètres piézoélectriques pour la mesure dynamique des accélérations tangentielles.



*Photos prises en labo
Pour Valéo*



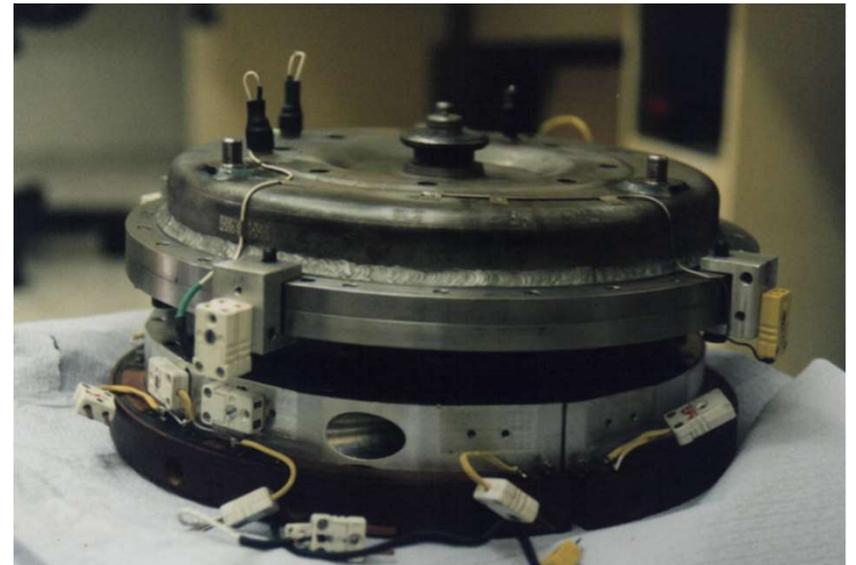
A droite, autre cloche d'embrayage avec 6 mesures de température et deux mesures de pression. Par la suite, une mesure de la vitesse des ailettes derrière la cloche a été ajoutée.

Pour un raccordement rapide des connecteurs ont été montés. Le dispositif est alimenté en inductif.

Ci-dessous élément de boîte à vitesse.
3 capteurs de déformations.



Photos :
- G.M.
- Valéo

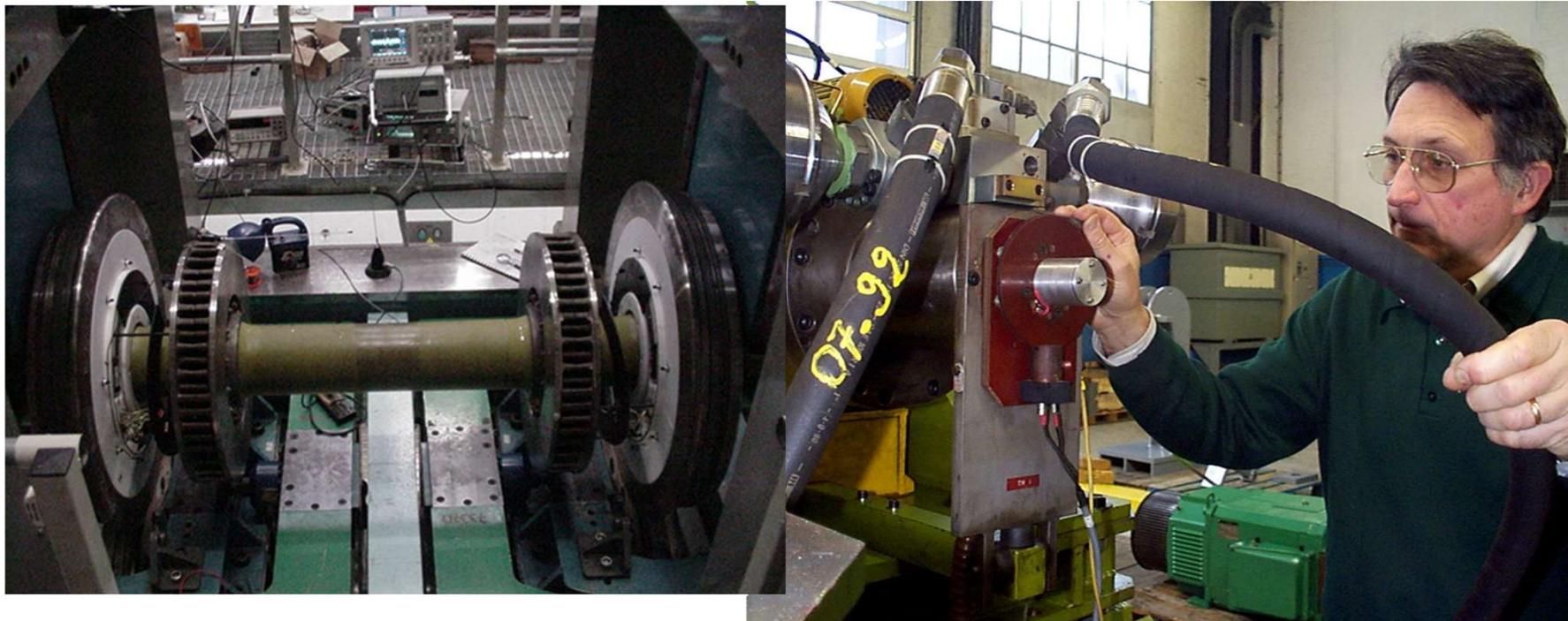




A droite, télémessure couple de torsion et angle sur un banc d'essais de fatigue dans le domaine ferroviaire. Le dispositif est alimenté par une boucle d'induction.

A gauche, 6 voies de mesures de déformations de part et d'autre de l'essieux.

Photos J.L. Rouvet chez SNCF





Télémesure de température sur un petit alternateur. L'émetteur est intégré dans un support ventilé monté sur l'alternateur avec une interface Teflon. La température de l'alternateur était supérieure à 125 °C. L'ensemble tournant est alimenté via le primaire inductif.

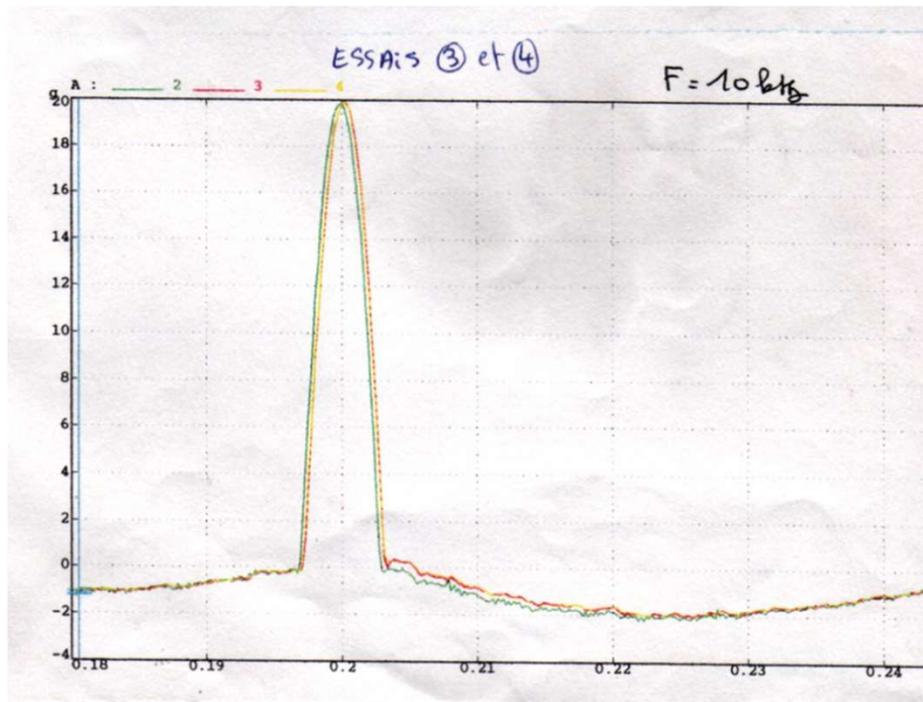


Photo prise en labo



Télémesure de choc à l'impact d'un body bloc. Le dispositif 2 voies a fait l'objet d'un étalonnage sur pot vibrant.
Le boîtier noir comprend les piles.

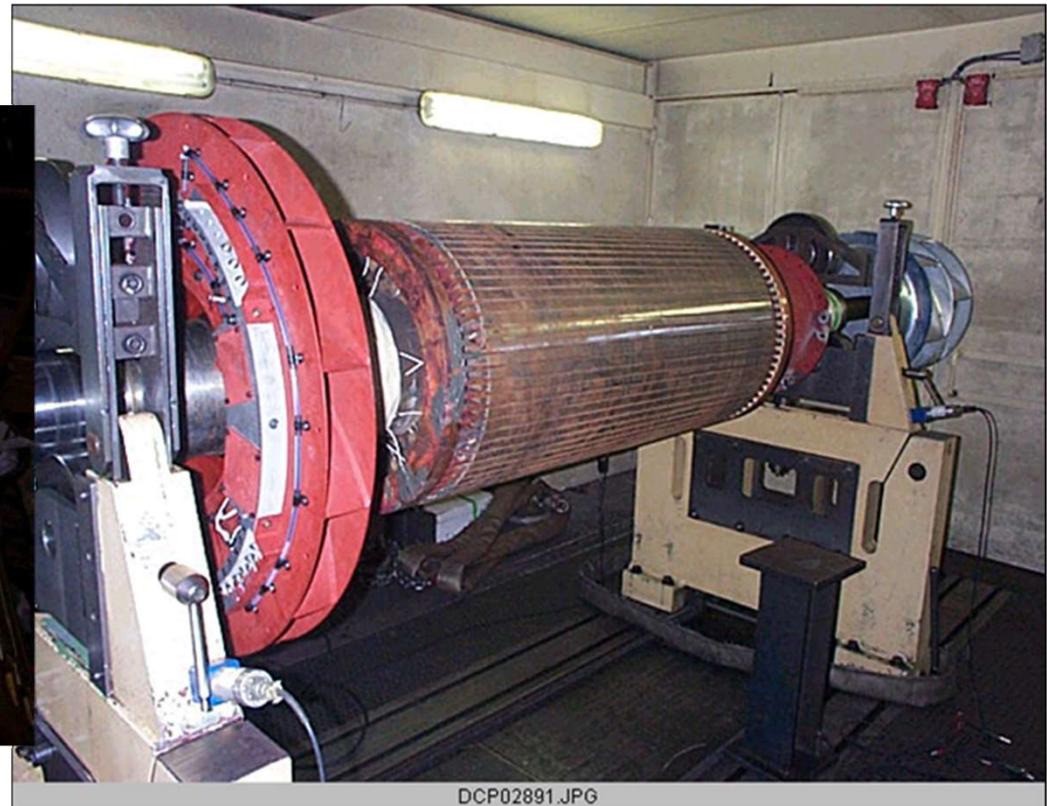
Photo ZF





Télémesure multivoie jauges de déformations et températures. Les capteurs sont directement entre les barres de cuivre de l'alternateur.

Photos Alstom





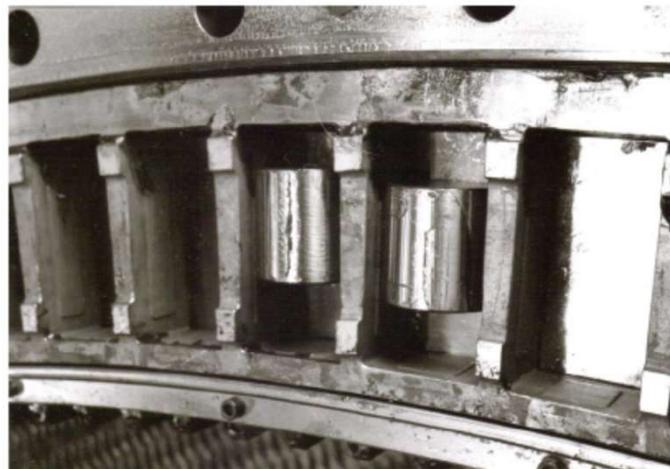
Moyen microminiature pour une turbine vapeur.
L'émetteur transmet les valeurs de jauges dynamique Matroc.
L'alimentation est réalisée par piles embarquées dans le même volume que celui de l'émetteur.
Plusieurs émetteurs sont installés et les mesures sont calées en phase.





Application : mesures d'efforts à l'intérieur de rouleaux de grands roulements de tunneliers.

Le roulement mesure 8 mètres de diamètre et l'objectif était de mesurer l'effort sur un ou deux rouleaux dans leurs cages pendant le creusement.



Photos J.L. Rouvet chez R.K.S



Mesures d'accélération et de température sur un pylône caténaire de la RATP. L'objectif est de mesurer la tension mécanique sur le câble et la température associée. Accessoirement une voie de télémessure permettait de mesurer la longueur de câble de maintient remontée du sol.

Cette application particulière a imposé la couverture d'une distance d'environ 30 mètres pour lier le moyen de télémessure installé au moyen mobile de réception installé dans un véhicule à distance.

Photo RATP





Photo Dynae

Mesure de couple de torsion sur un arbre de broyeur en cimenterie.

On note qu'il s'agit d'un montage rapide pour réaliser un diagnostic.

Notre client a intégré l'émetteur de télémessure et les piles dans un boîtier de sorte à l'isoler de l'environnement.

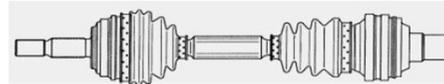
Si les températures et les projections liquides n'existent pas, l'atmosphère est particulièrement poussiéreuse et isoler les broches de raccordement de possibles poussières conductrices est essentiel.



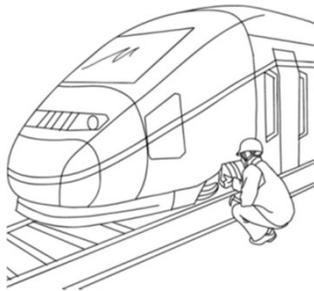
Applications



Automobile



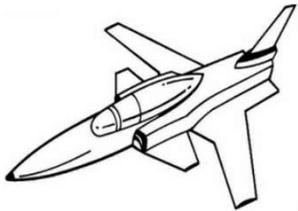
Couplemètres etc ...
Bancs de tests et de fatigue
Mesures sur organes



Ferroviaire



Six composantes d'efforts
Mesures de lubrification d'arbres
moteurs etc ...



Aéronautique



Turbines
Mesures de déformations et de
vibrations d'aubes etc ...



Marine



Moteurs
Mesures de couples, volant
moteur, bielles

Fin