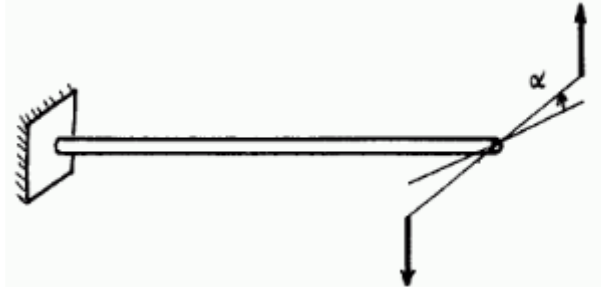


## Mesures de couple de torsion

### Introduction

La torsion est la déformation subie par un corps soumis à l'action de deux couples opposés agissant dans des plans parallèles.

Le croquis ci-dessous montre un arbre fixé à une extrémité et sollicité par un couple de torsion à l'autre extrémité. Le point fixe représente le second couple générant la torsion.



Le moment **M** est égal à la force par la longueur du bras de levier **M = F l**

Le couple de référence est **un Newton** à l'extrémité d'un bras de levier d'**un mètre**, la réalité est un peu plus complexe puisqu'il faut reproduire un moment et donc générer deux efforts, chaque effort identique mais de signe contraire à l'autre.

S'il existe différents moyens de mesurer le couple de torsion comme le différentiel angulaire en deux points distants de l'arbre sollicité, le moyen le plus classique et le plus efficace consiste à utiliser des jauges de déformations qui mesureront la déformation de surface  $\epsilon$  de l'arbre.

Les déformations, en utilisant deux jauges répond à l'équation, pour un arbre plein :

$$\epsilon_1 = - \epsilon_2 = M / \pi G R^3 = ( R / 2L ) \alpha$$

ou

**M est le moment = F l**

**L la longueur totale de l'arbre**

**$\alpha$  l'angle de rotation en radian**

**La distance entre les jauges n'intervient pas**

**$\epsilon_1$  L'indication de l'une des jauges et**

**$\epsilon_2$  L'indication de l'autre jauge.**

$$\alpha = 2 ML / \pi G R^4$$

$$\text{et } G = E / 2 ( 1 + \mu )$$

ou

**E est le module d'Young**

**Et  $\mu$  le coefficient de Poisson.**

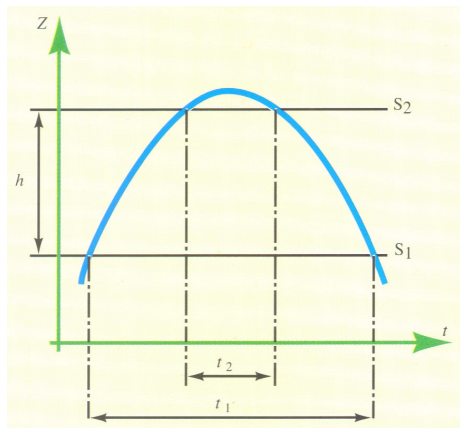
Tout ceci revient à dire que mesurer un couple de torsion n'est pas si compliqué d'autant qu'en instrumentant une section de l'arbre la longueur de l'arbre n'intervient plus et qu'en imaginant un matériau homogène le module d'Young et le coefficient de poisson ne diffèrent que de très peu d'un endroit de la surface de l'arbre à l'autre.

Puisqu'il faut arriver à une valeur exploitable de la mesure de déformation, il convient de la convertir en tension suivant la formule :

$$\mathbf{V \text{ sortie} = V \text{ alim} ( \text{fonction du nombre de jauges} ) \cdot K ( \text{coefficient des jauges} ) \cdot \epsilon}$$

La complexité d'une mesure de couple de torsion réside dans une multitude de facteurs, si la mesure en soi est réalisable avec des jauges de déformations, la complexité réside plus dans le **corps d'épreuve** et dans la **chaîne cinématique**. Le corps d'épreuve doit être assez rigide mais se déformer en torsion et la chaîne cinématique doit être le moins perturbée possible. L'alignement, l'absence de roulements, l'absence de balourds sont parmi les impératifs. Naturellement, comme pour toute mesure d'effort, les efforts parasites sont à considérer : traction / Compression, cisaillement, couples parasites etc ...

L'un des facteurs à considérer pour l'étalonnage d'un couplemètre est la gravité.



L'accélération de la pesanteur  $g$  est mesurée par la méthode des deux stations. Cette méthode consiste à projeter un corps dans le vide, verticalement vers le haut. Ce corps traverse deux plans horizontaux  $S_1$  et  $S_2$  ( les stations ) dont la distance  $h$  est connue ( de l'ordre de 40 cm ).

Si  $t_1$  est la durée qui sépare les deux passages du centre de gravité du corps à la station basse au cours de son mouvement ascendant puis descendant et  $t_2$  la grandeur analogue pour la station haute,  $g$  est donné par la relation :

$$g = 8.h( T_1^2 - t_2^2 )$$

Pour se rendre compte de la complexité du problème mesure de couple, il suffit de considérer la roue avant d'un véhicule, cette roue est soumise à trois efforts différents en  $x$ ,  $y$  et  $z$  mais aussi à trois couples de torsions différents dus au braquage, au freinage ou à l'accélération etc ... Un couplemètre de roue devient rapidement une balance multicomposante d'efforts.

A ceci s'ajoute le calage angulaire et les dérives thermiques.

Autant dire qu'il ne s'agit pas d'une mesure anodine.

### Les bases

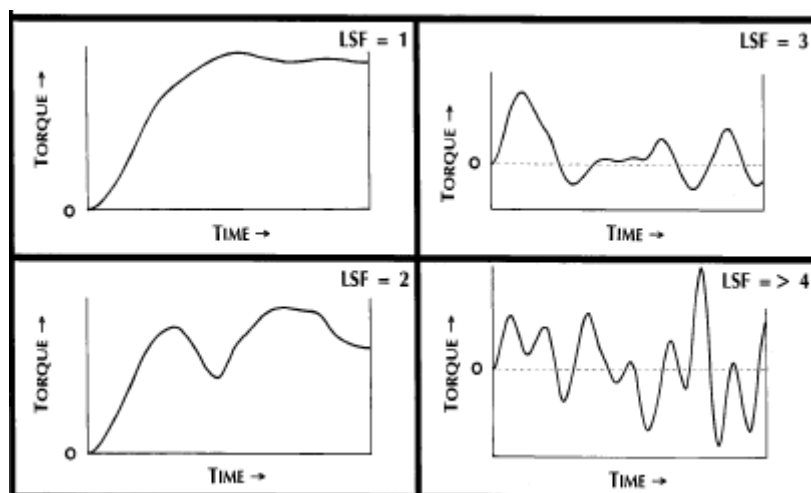
**P = Couple . Vitesse de rotation**

A partir de là, il est possible de déterminer le Couple maximum moyen en fonctionnement en utilisant :

**Couple max. moyen = P / V**

Les transitoires doivent être aussi évalués.

L'intérêt de ce calcul est de déterminer un facteur de charge offrant la possibilité de choisir le couplemètre idoine pour une application. Les quatre possibilités sont décrites dans l'illustration suivante ou **LSF** signifie **L**oad **S**ervice **F**actor



Ce facteur représente le profil du couple escompté en fonction du fonctionnement machine.

Il convient ensuite de cataloguer le facteur d'entraînement en fonction du type de machine.

De là, le couple transitoire répond à  
**Couple max. moyen . lsf + fe**

Les conditions de démarrage sont ensuite cruciales.

Puis les efforts parasites **efforts radiaux, efforts axiaux, efforts de courbure**.

La vitesse de rotation est un élément important pour choisir un couplemètre.

### **Les faux amis.**

Une réflexion basée sur un couplemètre seul est totalement incohérente. Dans l'absolu, un instrument dépend, comme noté en introduction, des caractéristiques du corps d'épreuve puis du type d'instrumentation du corps d'épreuve ( collage, compensation, câblage et protection ) pour terminer sur l'électronique utilisée.

Mais un instrument ' parfait ' doit faire l'objet d'un étalonnage sérieux ou les forces parasites sont éliminées, les températures maîtrisées, la gravité prise en compte etc ... L'instrument étalonné peut alors posséder une précision que les rédacteurs de fiches techniques s'empressent d'exploiter et d'enjoliver.

Dans le monde réel les efforts parasites, les températures ne peuvent être ignorées et faute de pouvoir vérifier la réalité l'utilisateur pourrait penser que l'exactitude de sa mesure correspond aux données spécifiées.

Il n'en est rien. La chaîne cinématique revêt une importance primordiale dans le cadre de ce type de mesure. L'idéal est de conserver l'intégrité de la chaîne cinématique et par conséquent de ne pas couper une ligne d'arbre pour insérer un couplemètre. Même dans ce cas idéal, nul n'est à l'abri d'efforts parasites ou de défauts comme la compression de l'arbre, une éventuelle courbure ou des efforts radiaux. Un balourd, par exemple, pollue la mesure, un défaut d'alignement la rend très imprécise.

Il est facile de comprendre pourquoi de nombreux couplemètres sur étagère sont réalisés sous formes de disques de faible épaisseur.

Dès lors qu'un corps d'épreuve est inséré dans une chaîne cinématique, ses attaches, de part et d'autre, sont sources de problèmes. Il existe différents types d'accouplements :

- **Accouplement flexible à membrane**, ils sont non-lubrifiés, pour les vitesses constantes et possèdent un anti-backlash. Ils sont usuellement utilisés sous forme de doubles modules flexibles. Ce type d'accouplement couvre une large gamme de couple et de vitesse.



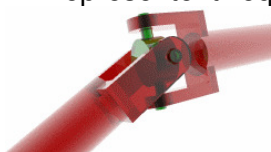
- **Accouplement à disque flexible**, ils possèdent les mêmes propriétés que les précédents.



- **Les accouplements à dentures**, ils sont de type vitesse constante mais imposent une lubrification et possèdent du jeu. Ces accouplements sont de petite taille pour des capacités de charges données. Ils existent en simple et double flex. Ils couvrent de larges gammes de couple et fonctionnent jusqu'à de hautes vitesses.



- **Accouplements conventionnels (crochets ou cardans) joint en U**, généralement lubrifiés ils sont utilisables pour des vitesses et capacités moyennes. Ils autorisent un défaut d'alignement plus grand dans un espace restreint et possèdent du jeu. Un seul joint en U (single flex) n'a pas une vitesse constante mais deux joints dos à dos calés en phase permettent d'approcher un fonctionnement en vitesse constante et représentent l'équivalent d'un double flex.



- **Accouplements joint en U à vitesse constante**, ils imposent une lubrification et possèdent du jeu.



Il existe d'autres types d'accouplements comme les accouplements élastomères, accouplements à ressorts, à chaînes etc ... mais ils ne sont pas recommandés soit parce qu'ils sont sujets à déformation sous l'effet de la centrifugation, présentent beaucoup de jeu

ou ne peuvent être à vitesse constante ou encore, par exemple, possède une inertie et une masse importante pour une capacité de couple.

Si l'accouplement peut devenir un faux ami, d'autres sources de soucis existent. Ainsi, **certain instruments sont supportés par des roulements à billes**. Dans le cadre d'une mesure de précision ou il convient de prendre soin d'éliminer les efforts parasites, le roulement n'a pas sa place, les **efforts de frottements** viendraient perturber la mesure.

D'ailleurs les efforts de frottements peuvent-être induits par des bagues de **collecteurs tournants**. Le collecteur tournant ne donne satisfaction que jusqu'à certaines valeurs de vitesses de rotation ( étant entendu que les niveaux de bruits électriques dépendent de l'amplification ou non des mesures embarquées ). Les balais permettant d'assurer un contact et relevés au terme de la campagne de mesure génèrent moins de frottements mais ne sont utilisés que lors de mesures pour de grandes vitesses de rotation et leur durée de vie est très limitée dans le temps.

Un autre faux ami est la **compensation thermique**. En réfléchissant la dérive thermique est plus importante que les autres erreurs. Les dérives sont exprimées sur le zéro et sur la pleine échelle. Un couplemètre est régi par deux dérives thermiques, la dérive du matériel embarqué et le dérive du matériel fixe. Ces deux erreurs ne sont pas forcément soumises aux mêmes températures. Ceci revient à dire qu'une compensation sur la partie fixe avec prise de mesure sur la partie fixe n'est pas réellement une compensation.

Pour la compensation sur la partie embarquée, la compensation devrait-être inhérente au pont de jauges si toutes sont soumises à la même température. Les conditions ne sont jamais parfaites et une auto compensation doit-être réalisée. La dérive sur l'échelle de mesure doit-être compensée également au travers d'une résistance thermosensible dans la ligne d'excitation en tension du pont.

Cette résistance **Rcp** se calcule :  $( \Delta S \cdot R \text{ pont} ) \cdot ( \alpha C - \Delta S )$  où **ΔS** est le pourcentage de variation d'échelle par variation d'unité de température, **R** est la résistance du pont et **αC** le coefficient thermique de la résistance de compensation ( en % ). Pour une première estimation :  $\Delta S = \Delta E + \Delta GF$  où **ΔE** est la valeur en pour-cent de la variation du module d'élasticité du matériau par unité thermique et **ΔGF** le pourcentage de variation du facteur de jauge par unité thermique.

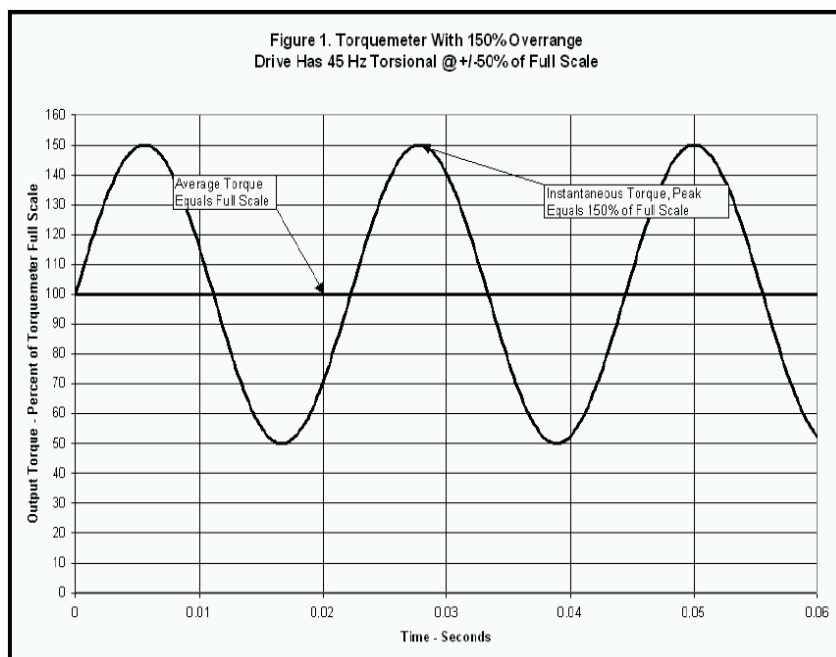
Il demeurera une erreur liée à la température. Le moyen de réduire cette erreur est de mesurer la température et de créer une matrice de compensation utilisable au travers d'un outil de calcul.

Pour résumer, le couplemètre, partie embarquée subit des cycles thermiques et les écarts sont répertoriés pour créer un algorithme de compensation, puis lors du fonctionnement, les valeurs de couple de torsion et de température serviront à calculer une valeur s'approchant de la vérité.

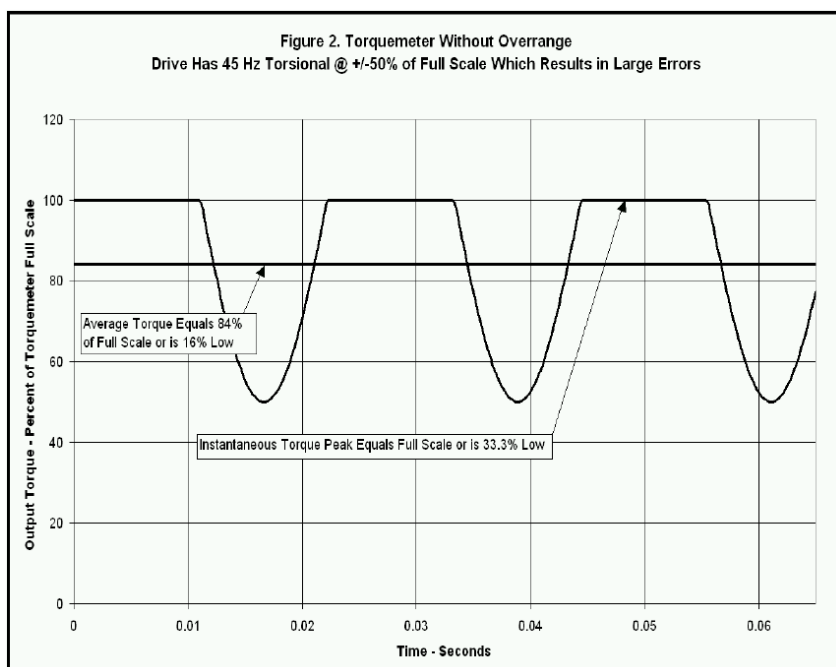
### La surcharge

La surcharge d'un instrument de précision représente sa valeur de torsion maximale pour laquelle l'erreur est inférieure à 0,1 % de la pleine échelle. Lorsque cette erreur est exprimée en fonction d'une pleine échelle de mesure elle doit être vraie sur l'ensemble de l'échelle sous peine de voir apparaître des erreurs plus importantes lorsque l'instrument est intégré à une chaîne cinématique.

L'illustration suivante montre les résultats d'un couplemètre possédant une capacité de dépassement d'échelle de 150 %. La valeur moyenne à 100 % de l'échelle n'est pas affectée, en sortie par les transitoires jusqu'à 150 % de PE.



Si le couplemètre n'était pas prévu pour les dépassement d'échelles, l'illustration suivante serait applicable. L'erreur conduirait à une saturation juste au delà de 100 % et une valeur moyenne d'un peu plus de 80 % induirait un plafonnement du signal de sortie qui écrêterait les transitoires à 100 % induisant une erreur considérable.



Ceci amène à considérer la fatigue des instruments et la valeur de surcharge avant perte des caractéristiques.

Le sur dimensionnement n'est pas forcément une solution puisqu'il est de nature à faire perdre en précision et en résolution. Les astuces sont plutôt des moyens mécaniques interdisant à l'instrument de subir ces surcharges fatales.

### **La vitesse critique**

Voilà un élément intéressant de la mesure de couple de torsion. Il est impossible d'équilibrer un élément tournant de manière parfaite. Un couplemètre équilibré de manière imparfaite sera précis jusqu'à ce que la première vitesse critique soit atteinte. A la vitesse critique des déflexions d'arbres et vibrations importantes vont apparaître, si la vitesse augmente les vibrations persistent jusqu'à la seconde vitesse critique et les symptômes réapparaissent. Si le fonctionnement est réellement à la vitesse critique, la durée de fonctionnement des éléments sera considérablement réduite et la précision dégradée.

D'ordinaire un couplemètre ne doit pas fonctionner à des fréquences critiques puisque prémuni par construction. Toutefois sur des versions grandes vitesses, les assemblages rotor, la modification de roulements et la lubrification externe peuvent amener un instrument à fonctionner à ces vitesses critiques.

La vitesse critique d'une ligne comprenant un couplemètre est liée au couplemètre, aux éventuelles emplacements de roulements, au montage aux caractéristiques de couplages et aux éventuelles interactions avec la chaîne cinématique. Si l'expertise est irremplaçable, le calcul peut donner quelques résultats.

Un couplemètre 'flottant' possède une vitesse critique :

$$- \text{Vitesse critique} = d^2 \cdot K / (M_1 L^3)^{1/2}$$

**Ou d est le diamètre de l'arbre**

**M le poids du couplemètre et**

**L la longueur totale du couplemètre**

Dans la mesure ou la masse totale inclue des accouplements flexibles la vitesse critique de l'arbre sera inférieure à la valeur trouvée au travers de cette formule. En divisant la valeur par 2 on obtient une idée cohérente de la valeur réelle.

### **A delà des considérations mécaniques**

Pour revenir, brièvement, sur les considérations mécaniques, un couplemètre est réalisé en utilisant plusieurs jauges de déformations correctement collées, compensées et protégées sur un corps d'épreuve. Le corps d'épreuve instrumenté est nommé 'capteur' le reste de l'instrumentation est définie comme 'électronique'.

Pour un couplemètre tournant, l'électronique 'bord' et l'électronique 'fixe' peuvent-être liées par différents dispositifs.

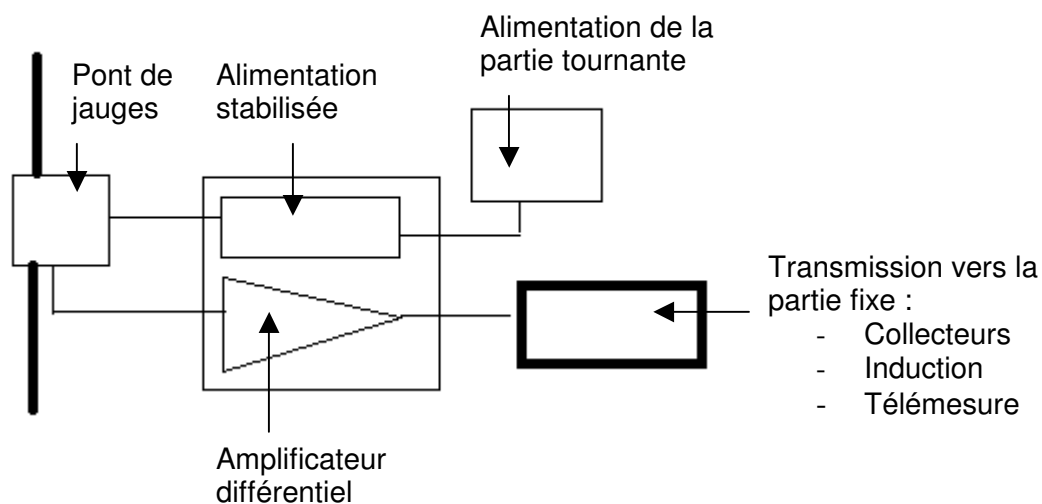
Le collecteur tournant est l'une des solutions, la plus pénalisante en terme d'usure et d'efforts parasites comme les frottements. Le collecteur tournant, si une électronique d'amplification n'est pas embarquée, sera la source de bruit. En effet, le signal de sortie d'un pont de jauges est en mV, voire  $\mu\text{V}/\text{V}$ , inutile de dire que si un blindage évitera le bruit sur les câbles, il n'existera aucun blindage pour le collecteur tournant, les collecteurs à balais etc ... qui induisent eux même un bruit électrique. Ces bruits ont fait l'objet de réflexion pour amoindrir leur effet sans jamais réussir à éliminer totalement ces parasites.

Les autres méthodes de transmissions, dites 'sans fils' peuvent réduire encore les effets du bruit, d'une part le conditionnement est embarqué, d'autre part les liaisons font l'objet de toutes les attentions pour se prémunir du bruit.

Les couplages télémètre en double modulation de fréquence ont permis d'énorme progrès. Deux raisons à cet état de fait, d'une part une double modulation de fréquence permet le transfert sur une porteuse haute fréquence d'un signal mesure converti en fréquence, cette fréquence de sous porteuse ne transporte que les bruits acquis en amont du conditionnement et les bruits inhérents au système. L'autre avantage est que les couplemètres télémètre, qui fonctionnent avec des fréquences radio, sont alimentés avec des couplages inductifs dont les fréquences de fonctionnement sont dans un rapport 0,08.

L'immunité aux bruits doit tenir compte du spectre large des possibles interférences générées par l'environnement. Ces fréquences radio, sous la dénomination ISM ( Industrie, Scientifique, Médical ) sont puissantes et génèrent de nombreuses nuisances. Dire qu'un instrument est imperméable au bruit ou protégé par un blindage à partir de ferrites est un non sens. Tout instrument est perméable au bruit et les ferrites n'améliorent rien, elles amplifient les phénomènes. D'autre part les récentes apparitions de fréquences radio de forte puissance pour les gestions de stocks, les communications WiFi, Bluetooth, Zigbee et autre viennent s'ajouter aux interférences électromagnétiques habituelles.

Pour s'affranchir de ces perturbations de nombreux concepteurs de couplemètres utilisent des plages de fréquences très larges pour proposer des bandes passantes importantes. Ceci va à l'encontre de la législation et est utilisé pour réaliser une liaison bi directionnelle et une alimentation simultanée sur une seule et même bande de fréquence. Ceci ne résout pas le problème et inscrit les instruments dans la plus parfaite irrégularité. Il convient donc d'exploiter des fréquences distinctes pour chaque voie de transmission, montante et descendante.



### Les couplemètres numériques

Les avantages d'un couplemètre numérique haute résolution ont tenté certains fabricants qui se sont quelque peu égarés. Installer un convertisseur analogique / numérique sur la partie tournante équivaut à une liaison conventionnelle analogique, les deux sont précis mais la précision est sérieusement dégradée. Pour cette raison de nombreux constructeurs proposent des instruments avec un large choix de plages de mesure plutôt qu'un petit nombre de modèles avec des possibilités étendues.

Pourtant la vraie solution réside dans un traitement embarqué plutôt que dans une simple transmission du signal analogique sous forme numérique. Le signal mesure prélevé sur la partie tournante l'est en même temps qu'une mesure thermique, l'étalonnage en réel et sous conditions d'utilisation permet de réaliser des formes d'algorithmes qui permettront le recalage, par calcul, des mesures conformément à la réalité. Un shunt de calibration, également embarqué permet de recalibrer les mesures en fonction de pourcentages de pleine



échelle. De là, les précisions annoncées pour les instruments classiques dits ' haute résolution ' sont des valeurs exprimées sur les signaux de sortie en partie fixe, valeurs plus de laboratoire que de conditions réelles et de ce fait moins consistantes que des valeurs traitées en amont.

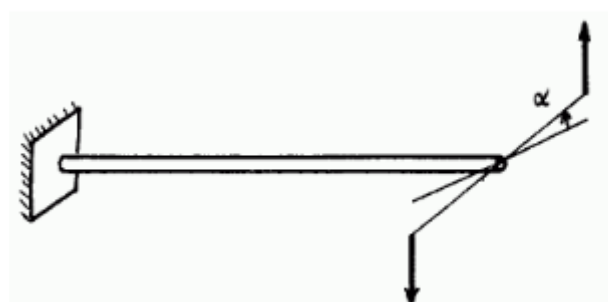
Ceci limite naturellement les bandes passantes des instruments mais les limites imposées sont au delà de plusieurs KHz et de fait au delà des réponses de chaînes cinématiques.

Si, pour certains cas, les bandes passantes excèdent 5 ou 8 KHz, il convient de revenir à des moyens dont la précision n'est certes pas la même que celle des moyens numériques comme la transmission radio par double modulation de fréquence.

### L'étalonnage

Chacun sait qu'une mesure de torsion suppose un étalonnage mécanique vrai. Suivant les niveaux de précision requis, l'étalonnage peut-être plus ou moins simple.

La différence entre le comportement en statique et le comportement en dynamique est très faible, l'étalonnage statique est donc communément utilisé.



l'étalonnage statique consiste à s'assurer qu'il n'existe pas d'efforts parasites ou à les compenser puis à appliquer un couple pur soit deux efforts de valeurs rigoureusement identiques mais de sens opposé. Dans le sens des aiguilles de la montre, en partant d'un calage à zéro, les efforts seront appliqués suivant des incréments de valeurs égales sur l'étendue de mesure en prenant soin de disposer d'une valeur au delà de la pleine échelle, la linéarité dans un sens est alors définie puis en réalisant la manipulation inverse il est possible de déterminer l'hystérésis, cette procédure répétée permet de conforter les écarts de linéarité et d'hystérésis et de valider la fidélité. Si les valeurs doivent-être validées en deux direction, soit également en sens inverse des aiguilles de la montre, il est possible qu'au retour à zéro et lors de l'inversion, un calage différent conduise à une erreur sur le zéro. Cette erreur peut-être purement mécanique, la procédure est alors renouvelée comme dans le premier sens et les écarts déterminés.

Lors d'une mesure directe purement analogique ou les données sont prélevées directement, la procédure d'étalonnage est parfaitement valide, dès lors qu'une électronique est insérée dans le système, il convient de valider l'étalonnage avec cette électronique. Ceci conduit à considérer l'étalonnage d'un instrument numérique utilisant une conversion analogique digitale. Dans ce cas il est important de mesurer, simultanément, le niveau de bruit en entrée analogique. En effet, un bruit codé en numérique n'est plus un bruit mais une valeur mesure.

Enfin, les étalonnages sont réalisés pour une température donnée et il est rare de voir un étalonnage poussé au point d'effectuer les relevés sous plusieurs températures. Si le constructeur fait correctement son travail les données de dérives thermiques sont clairement énoncées et valides, dans le cas contraire, en prenant une dérive thermique, par exemple, de 0,02 % / °C, l'erreur induite par une différence de 10 °C sera de 0,2 % de la Pleine Echelle

et probablement plus importante de ce fait que l'erreur de linéarité. Sur un différentiel 100 °C l'erreur devient 2 % de la Pleine Echelle.

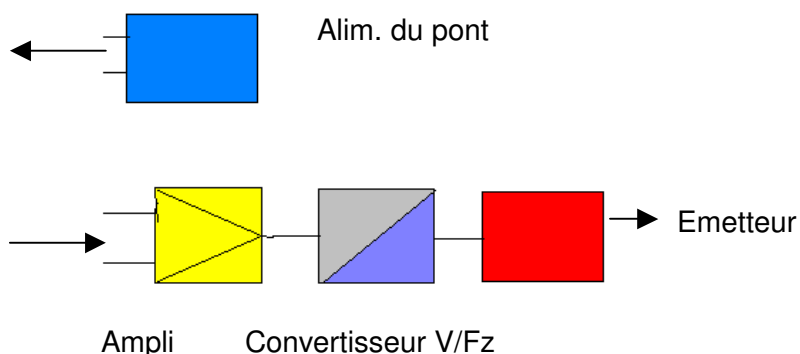
Ce qui précède concerne un étalonnage mécanique en statique, l'étalonnage en dynamique ne change quasiment rien et ne peut-être réalisé qu'avec un instrument de référence dont il faudra s'assurer que la précision en statique est meilleure que la précision en statique de l'instrument à étalonner.

Plutôt que ces étalonnages dynamiques, une calibration en grandeur réelle est beaucoup plus intéressante.

Si, lors de l'étalonnage, des crans de calibrations ont été prévus et vérifiés, il est possible, lorsque l'instrument est installé, de vérifier ces calibrations.

Ceci conduit à considérer les différences entre élément tournant et élément statique. Pour illustrer le propos basons nous sur un moyen de télémessure.

Un moyen de télémessure en modulation de fréquence est construit comme suit :



L'amplificateur récupère en entrée le signal de déséquilibre du pont et suivant le gain, restitue en sortie l'image amplifiée de ce déséquilibre. En d'autres termes, un pont parfaitement équilibré donne une sortie correspondant parfaitement à un zéro mais entachée d'erreurs liées au montage. Le convertisseur tension fréquence est calé pour un zéro, admettons 100 KHz. Si le signal est réellement zéro en entrée, la fréquence dite de sous porteuse est donc de 100 KHz. La pleine échelle est réalisée en utilisant, par exemple, une bande de fréquence de 80 à 120 KHz. Un couplemètre bien étalonné en statique donnera donc 100 KHz pour zéro, 80 KHz pour – Pleine Echelle et + 120 KHz pour + Pleine Echelle. Le signal transmis est, en réalité cette fréquence de sous porteuse traduite ensuite en tension électrique pour restituer un signal mesure en tension.

Lors de l'installation des efforts viennent se greffer sur le corps d'épreuve instrumenté. Le zéro Volt de la sortie électrique indiquera une valeur. Pour connaître la valeur vraie de l'erreur induite par le montage il suffit de mesurer la fréquence de sous porteuse reçue soit : 100,xxx KHz pour déterminer la valeur réelle de l'influence du montage avant de tricher pour ramener la valeur électrique à zéro. La même chose peut-être réalisée sur fraction de Pleine Echelle ou sur la Pleine Echelle.

Ceci illustre une des erreurs liée au montage.

### Conditions extrêmes

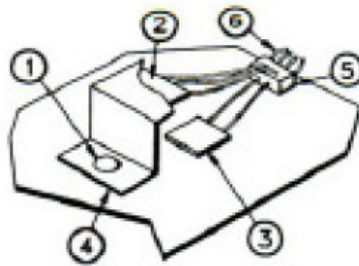
Ne pas couper la ligne d'arbre représente, sans doute, le meilleur moyen de réaliser une mesure fiable mais, dans certains cas sans possibilité de référencer la mesure.

Si l'on imagine une ligne d'arbre de gros volume, comme un arbre de transmission sur un navire, il est évident que réaliser un étalonnage en laboratoire ne peut-être envisagé. Accastiller un bras de levier sur l'arbre n'est probablement pas la solution car les efforts devant-être générés sont si importants qu'il faudrait des grues pour suspendre les masses et que l'accastillage du bras de levier aurait tôt fait de rendre l'âme.

L'une des possibilités consiste à connaître les module d'Young et coefficient de Poisson de l'arbre, l'une des possibilités de déterminer le module d'Young est de mesurer la vitesse du son dans le matériau ... En effet la relation :

$$V_{\text{son}} \propto \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

permet d'approcher une valeur en faisant abstraction du coefficient de Poisson puisque E est le module d'Young Le coefficient de Poisson pour un acier de fonderie est compris entre 0,27 et 0,30. Il est donc possible de réaliser une approximation. Si l'arbre n'est pas homogène quelle que soit la méthode utilisée il existe de fortes chances de commettre des erreurs. Pour l'instrumentation, il est possible d'utiliser des ' capteurs ' réalisés et étalonnés.



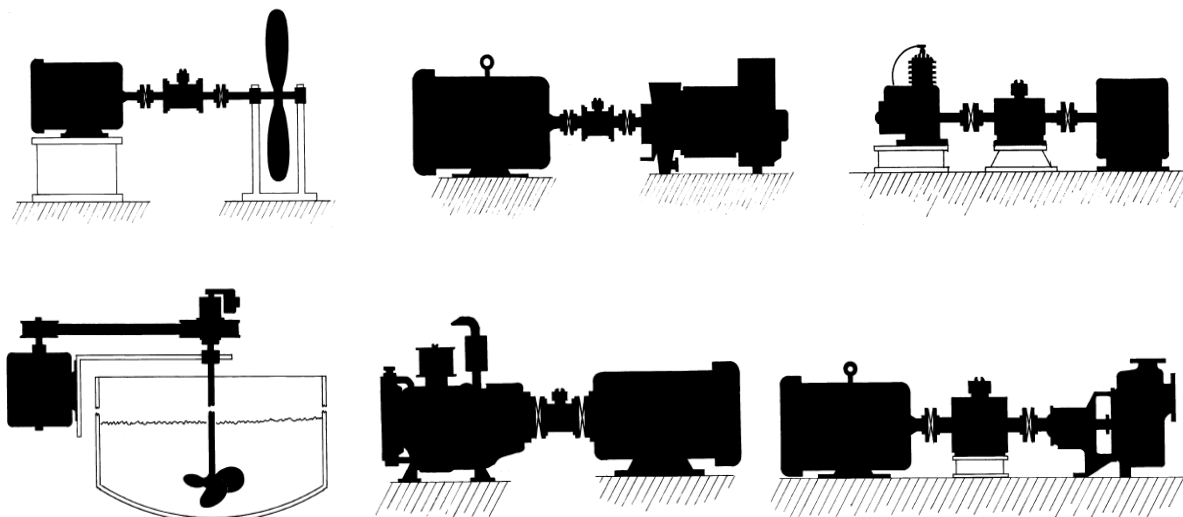
Les jauges de déformation sont implantées sur un substrat classique en Kapton et une pièce de même nature que celle de la structure à mesurer est disposée, découplée mécaniquement au travers d'un produit élastique, au dessus des jauges actives, sur cette pièce qui ne percevra pas les déformations, des jauges sont implantées puis le tout est soigneusement câblé de sorte à ce que les jauges ' passives ' compensent les jauges actives. Ceci permet de réaliser sur ce ' capteur ' un étalonnage et l'assemblage compense en réel les dérives thermiques et les possibles interférences.

Il demeure que la mesure de couple de torsion sera inexacte mais peut-être fidèle dans son erreur et donner des clefs pour une maintenance préventive.

### Conclusion

La mesure de couple de torsion, comme toutes mesures est assez complexe et c'est, sans doute, pour cette raison que les fabricants de bons instruments ne sont pas nombreux. Il faut une expertise mécanique et une connaissance électrique et électronique pour réaliser un couplemètre mais pas seulement, l'instrument possède un comportement particulier suivant la machine ou chaîne cinématique sur laquelle il est installé, les compétences d'analyse de la chaîne cinématique offrent les garanties d'un moyen de mesure dont on connaîtra les défauts et les qualités.

Le choix d'un couplemètre sur catalogue devient alors compliqué.



Les six illustrations ci-dessus montrent des applications distinctes où la définition de l'instrument est totalement différente pour chaque problématique.

En haut à gauche, un ventilateur entraîné par un moteur à induction puis un compresseur axial entraîné par un moteur à induction et un banc de test pour moteur thermique mono cylindre. La ligne suivante montre un agitateur avec entraînement par courroie puis un générateur entraîné par un moteur diesel et enfin une pompe centrifuge entraînée par un moteur électrique alternatif.

Le challenge consiste à comprendre le fonctionnement de chaque application et l'usage qui sera fait du couplemètre.

### **Références utilisées**

- Mesures de couple de torsion MCRT Chicago III – U.S.
- Laboratoire National d'Essais
- Capteurs de fatigue Columbia Research Lab.
- Electronique et télémessures Giacintec – T.C.E.

### **Unités de mesures exotiques**

- Once Inch : 0,00706155 Nm
- Livre Inch : 0,112985 Nm
- °F :  $- 32 \cdot 5/9$  °C

./