



# WORKSHOP TS 2004

**METROLOGIE D'ALIGNEMENT MICROMETRIQUE:**

**MOYENS, DEVELOPPEMENTS ET APPLICATIONS**

**Hélène MAINAUD DURAND TS/SU/MTI**

# INTRODUCTION

Pour faire face aux tolérances d'alignement de plus en plus drastiques concernant les futurs accélérateurs de particules, une nouvelle génération de capteurs a été développée:

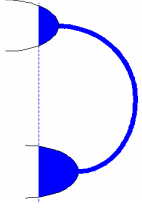
- d'une résolution micrométrique
  - permettant des mesures en continu
  - dans des environnements souvent hostiles
- Ces capteurs sont en train de révolutionner les possibilités d'alignement.

Cette présentation passera en revue les différents capteurs testés, utilisés voire développés par notre groupe, et les applications métrologiques correspondantes: passées, présentes et futures.

# SOMMAIRE

- ❖ **Présentation des capteurs**
  - HLS (Hydrostatic Levelling System)
  - WPS (Wire Positioning System)
  - TMS (Tilt Measuring System)
  - RASNIK-CCD (Red Alignment System from NIKHEF)
  
- ❖ **Applications**
  - Accélérateurs
    - Spectromètre LEP
    - Low Betas LEP et LHC
    - CTF2 → CLIC
  - SwissMetro

# CAPTEURS: HLS (1)



## HLS: Hydrostatic Levelling System

Système basé sur le principe des vases communicants. Le réseau hydraulique est composé de pots reliés les uns aux autres par des tubes d'eau et des tubes d'air.

Pour éliminer les effets de variation différentielle de pression atmosphérique, le réseau est seulement ouvert à l'air en un seul point.

Le fluide utilisé est de l'eau déminéralisée, à laquelle est rajouté un anti-algues

Différentes technologies sont possibles pour réaliser la mesure des distances. Dans le cas d'une résolution micrométrique, 2 technologies sont valables: la technologie capacitive et la technologie ultra-son.

*Caractéristiques des HLS capacitifs:*      *Caractéristiques des HLS ultra-sons:*

*Résolution: 0.2  $\mu\text{m}$*

*Résolution annoncée: 3  $\mu\text{m}$*

*Course: 5 mm*

*→ à tester: il s'agit pour l'instant de prototypes...*

*Répétabilité: 1  $\mu\text{m}$*

*Bande passante: 0-10 Hz*

# CAPTEURS HLS (2)

## Technologie capacitive

### Principe :

L'électrode du capteur et l'objet visé forment un condensateur dont on mesure soit la capacité électrique, soit l'inverse de la capacité.

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{d}$$

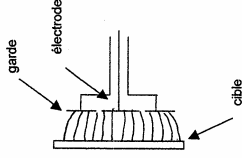
avec C = capacité électrique

$\epsilon_0$  = permittivité du vide

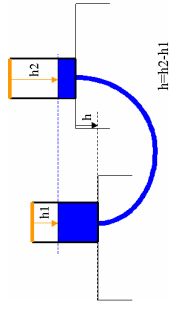
$\epsilon_r$  = permittivité du milieu

S = surface électrode mesurante

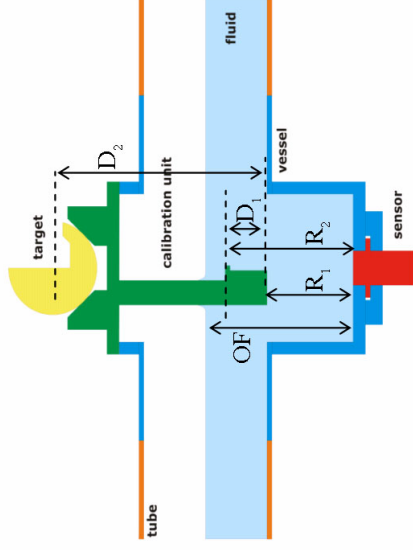
d = distance entre électrodes



Basés sur la technologie capacitive FOGALE Nanotech, ils ont été développés par l'ESRF en 1987 pour réaliser l'alignement vertical permanent de l'anneau de stockage. Les capteurs ont été ensuite optimisés au fur et à mesure de leur utilisation au CERN et KEK



## Technologie ultra-son



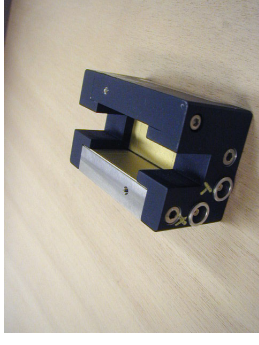
Ces capteurs ont été développés pour l'alignement de TESLA à DESY

Nouveau concept de calibration « in situ » éliminant les dérives des capteurs.

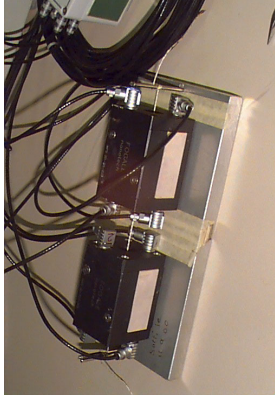
Développement d'un pot spécial dans lequel 2 références D1 et D2 sont connues et restent constantes dans le temps. La référence est faite en invar.

# CAPTEURS WPS

Le WPS ou écartomètre à fil utilise les techniques de mesure capacitive FOGALE Nanotech pour mesurer la distance entre les surfaces références d'un capteur et un fil tendu considéré comme référence. Pour chaque axe de mesure, le fil passe entre 2 électrodes.



Le fil est constitué d'une fibre de carbone dont la géométrie est maintenue grâce à un tressage de filaments en PEEK. Il est maintenu en tension grâce à un système de poulie sans frottement et un contrepois.



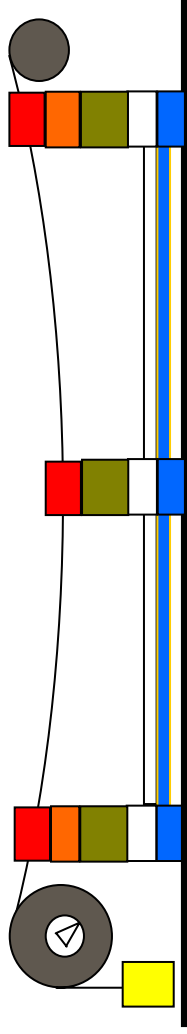
*Caractéristiques des WPS capacitifs:*

*Résolution: 0.1  $\mu\text{m}$*

*Course: 10 mm sur deux axes*

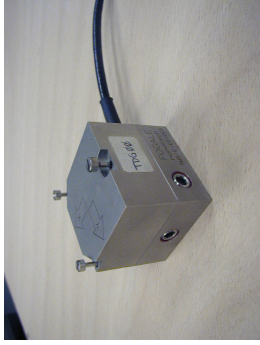
*Répétabilité: 1  $\mu\text{m}$*

*Bande passante: 0-100 Hz*

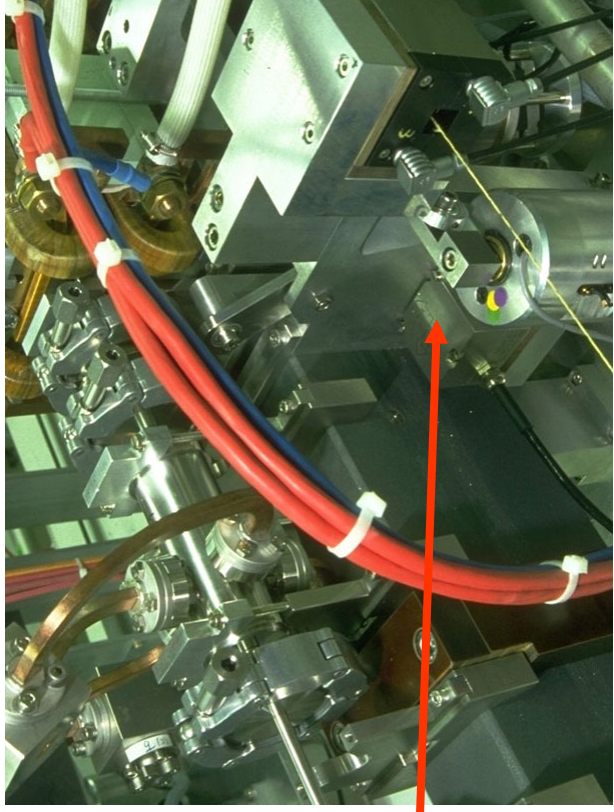


# CAPTEUR TMS

Le TMS est un clinomètre qui utilise les techniques capacitatives et électrostatiques. Une masse est tenue en lévitation par électrostaticité et les déplacements de cette masse sont mesurés par des techniques capacitatives. L'axe Z délivre un signal d'accélération autour de g.



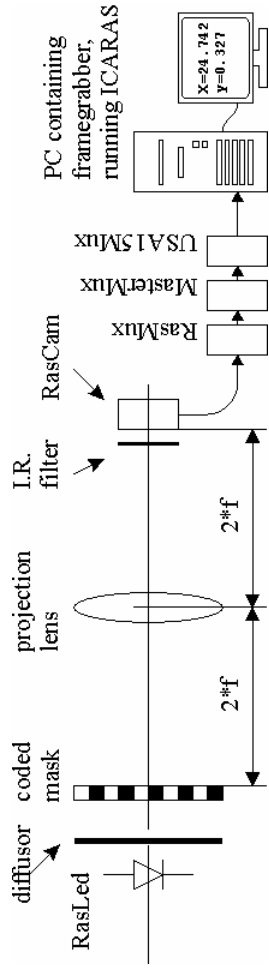
TMS



*Caractéristiques des TMS :*  
*Résolution:  $10^{-7}$  rad*  
*Course:  $\pm 10$  mrad*  
*Répétabilité:  $10^{-6}$  rad*  
*Bande passante: 0-100 Hz*

# CAPTEUR RASNIK CCD

Le système est un ensemble de 2 éléments optoélectroniques et d'un élément optique. Une partie de l'image d'un masque codé est éclairée par un réseau de diodes infrarouges à travers un diffuseur et projetée sur une caméra numérique par l'intermédiaire d'une lentille.



On considère que la caméra et la lentille forment l'axe optique de référence: on mesure les mouvements du masque par rapport à cet axe (Y). La caméra est reliée à un ordinateur afin d'en déduire la position radiale (X,Z) du masque par rapport à l'axe de référence.

Avec le même principe mais sous une autre forme, le système a largement été utilisé dans l'expérience L3 du LEP.

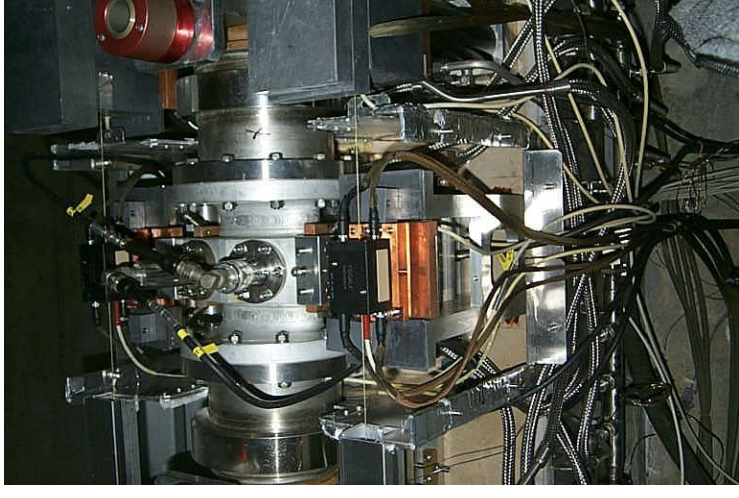
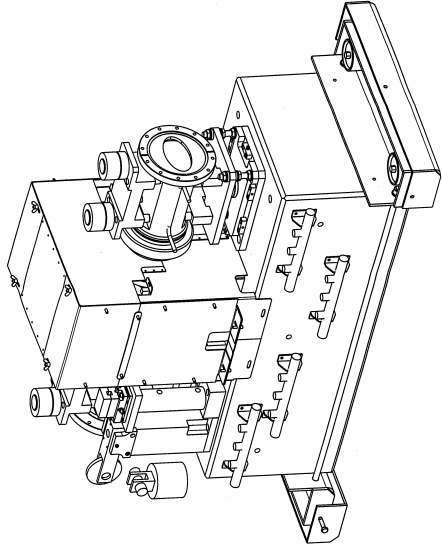


# APPLICATION: spectromètre LEP

18 WPS installés dans la section 332 du LEP

Objectif: détecter des déplacements fins des BPM: précision demandée pour les mouvements relatifs des BPM:  $\pm 1 \mu\text{m}$

Tous les éléments étaient posés sur 6 blocs en marbre. BPM et WPS étaient dans des containers contrôlés en température. Les capteurs et leur électronique étaient protégés des radiations.



Reproductibilité des mesures WPS:  $\pm 0.2 \mu\text{m}$

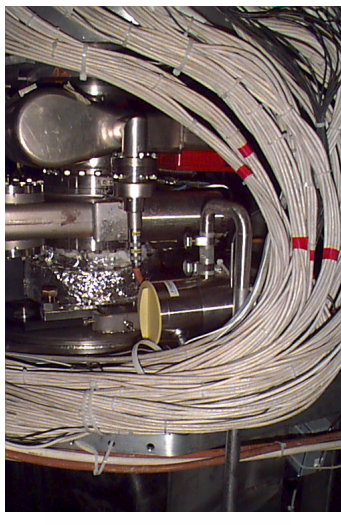
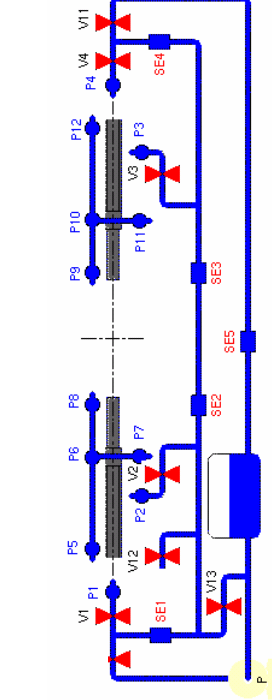
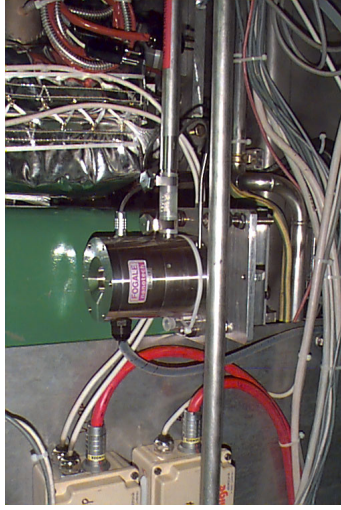
# APPLICATION: low betas LEP

## LOW BETAS LEP

Les capteurs HLS ont été installés sur les quadrupoles low betas du LEP pour mesurer les mouvements des aimants de façon continue, de telle sorte à réaliser un système « feed back » utilisant ces mesures pour corriger l'orbite verticale.

La précision du capteur HLS est limitée par des différences de densité thermique de l'eau contenue dans les tubes.

Un réseau d'eau à circulation d'eau a été mis en place, vu qu'il n'y avait pas de possibilité d'installer un réseau horizontal, vu que résidaient de gros écarts de température le long du réseau

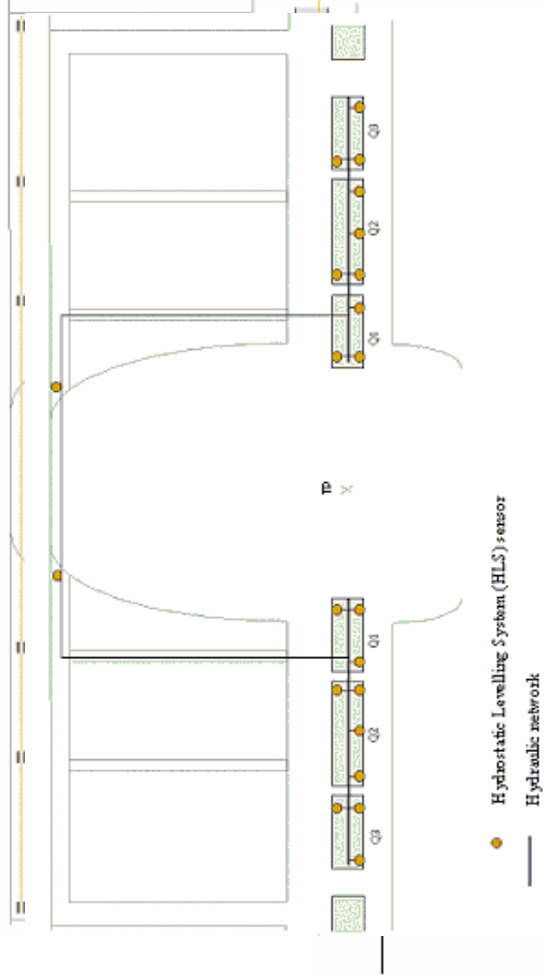


Un tel système à circulation ne garantit des mesures précises (quelques microns) que dans la demi heure suivant l'arrêt de l'homogénéisation en température du réseau.

# APPLICATION: low betas LHC

## Tolérances d'alignement:

- Positionnement d'un triplet côté gauche / droit:  $\pm 0.5$  mm à  $3 \sigma$
- Stabilité de position d'une quadrupole à l'intérieur d'un triplet: quelques microns



## Stabilité de position:

- 2 WPS par quadrupole, fil indépendant
- 3 (à 4) HLS par quadrupole

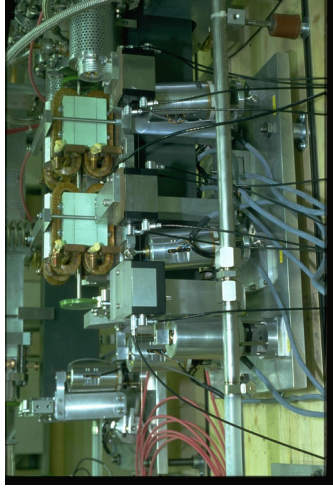
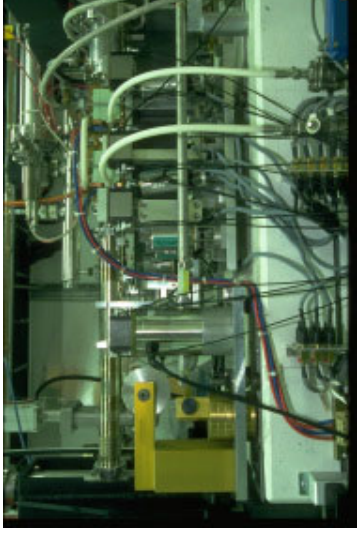
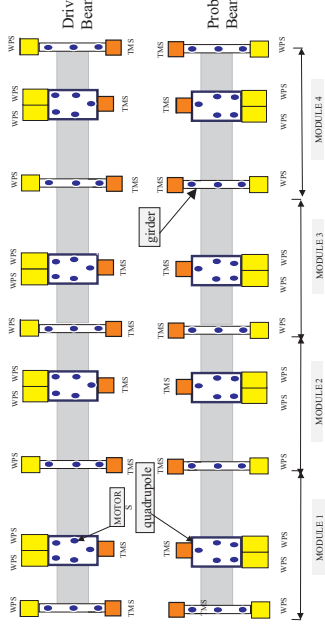
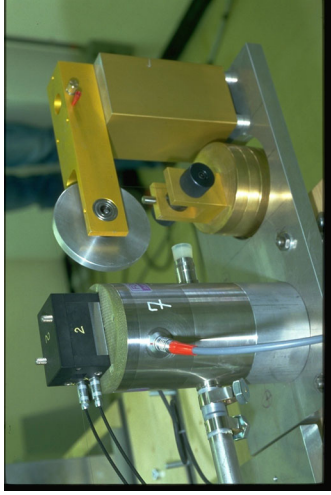
## Positionnement d'un triplet / à l'autre:

- radialement: 3ème fil tendu, rattaché aux 2 fils référence par 6 systèmes invar
- Verticalement: réseau hydraulique reliant les 2 côtés.

# APPLICATION: CTF

## CTF (CLIC Test Facilities)

Différents bancs tests ont été équipés de prototypes de capteurs et de moteurs qui ont permis d'arriver à la configuration du CTF2, soit 32 capteurs (WPS, HLS et TMS) répartis sur les 2 linacs.

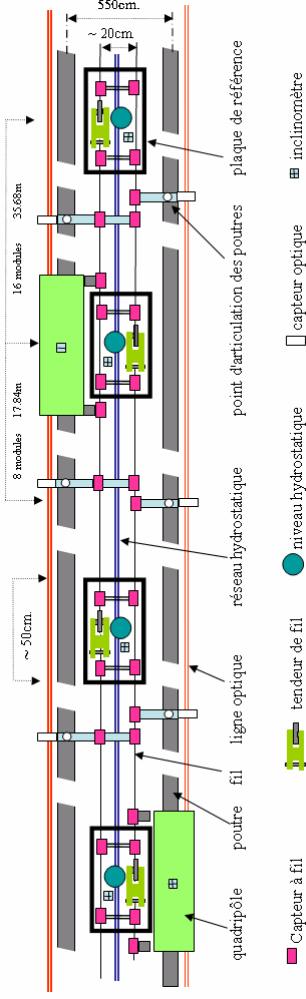


# APPLICATION FUTURE: CLIC

## CLIC

La tolérance de position initiale des composants transversaux des linacs CLIC est de 10  $\mu\text{m}$  sur 200m. Celle-ci ne peut pas être obtenue par un alignement statique. D'où l'idée d'utiliser un système de préalignement actif composé de moteurs pas à pas et de différents capteurs.

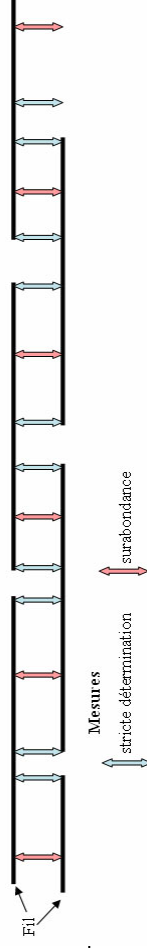
Les cavités accélératrices ou de transfert et les BPM sont posés sur des poutres par l'intermédiaire de V préalignés. Deux poutres successives sont liées par un même point d'articulation. Le préalignement initial revient à aligner ces points d'articulation:



Equipement de chaque point d'articulation d'un élément RASNIK

A intervalles réguliers, les points d'articulation sont rattachés à un réseau de fils tendus.

Le réseau de fil tendus consiste en 2 lignes de fil d'environ 100 m de long, parallèles aux linacs et se superposant sur la moitié de leur longueur.



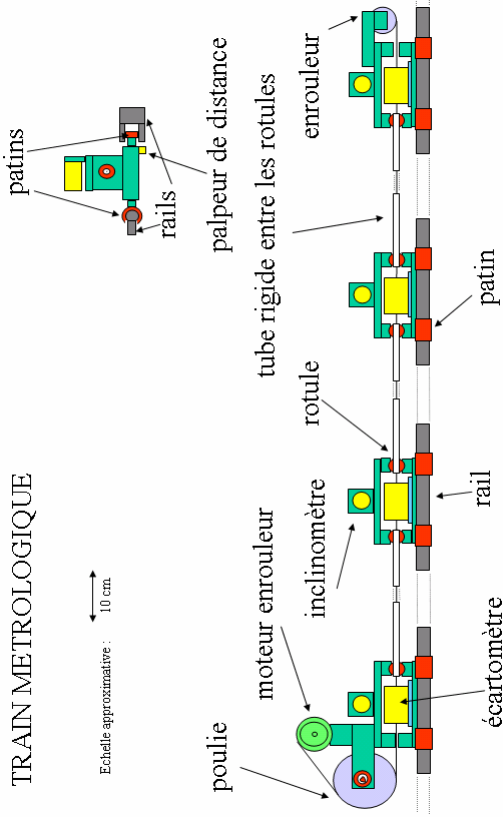
# APPLICATION : swissmetro

Swissmetro est un nouveau système de transport à grande vitesse, capable de transporter des passagers en toute sécurité à des vitesses excédant 400 et même 500 km/h.

HISTAR est une maquette à échelle réduite, afin d'analyser les effets aérodynamiques générés par ce type de système de transport.

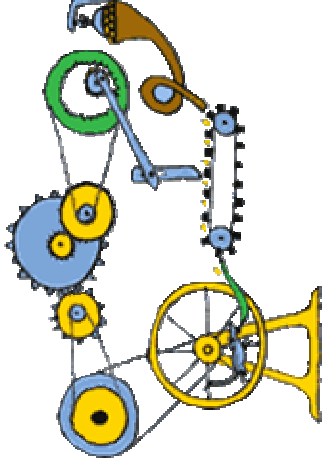
**Objectif:** mesurer la déformation altimétrique et planimétrique d'un système de rails.

**Une solution:** la technique du fil en recouvrement et de l'inclinométrie.



# CONCLUSION

Les nouveaux capteurs développés pour répondre aux tolérances d'alignement draconiennes des futurs accélérateurs ont déjà trouvé bon nombre d'applications et montré leurs grandes possibilités.



Tous les développements, tests, améliorations concernant les capteurs HLS, WPS, TMS et RASNIK-CCD ont été initiés et menés à bien par *William COOSEMANS*, en retraite depuis 2003.