



# LES ETUDES SUR LE PRE-ALIGNEMENT DU CLIC

Hélène MAINAUD DURAND



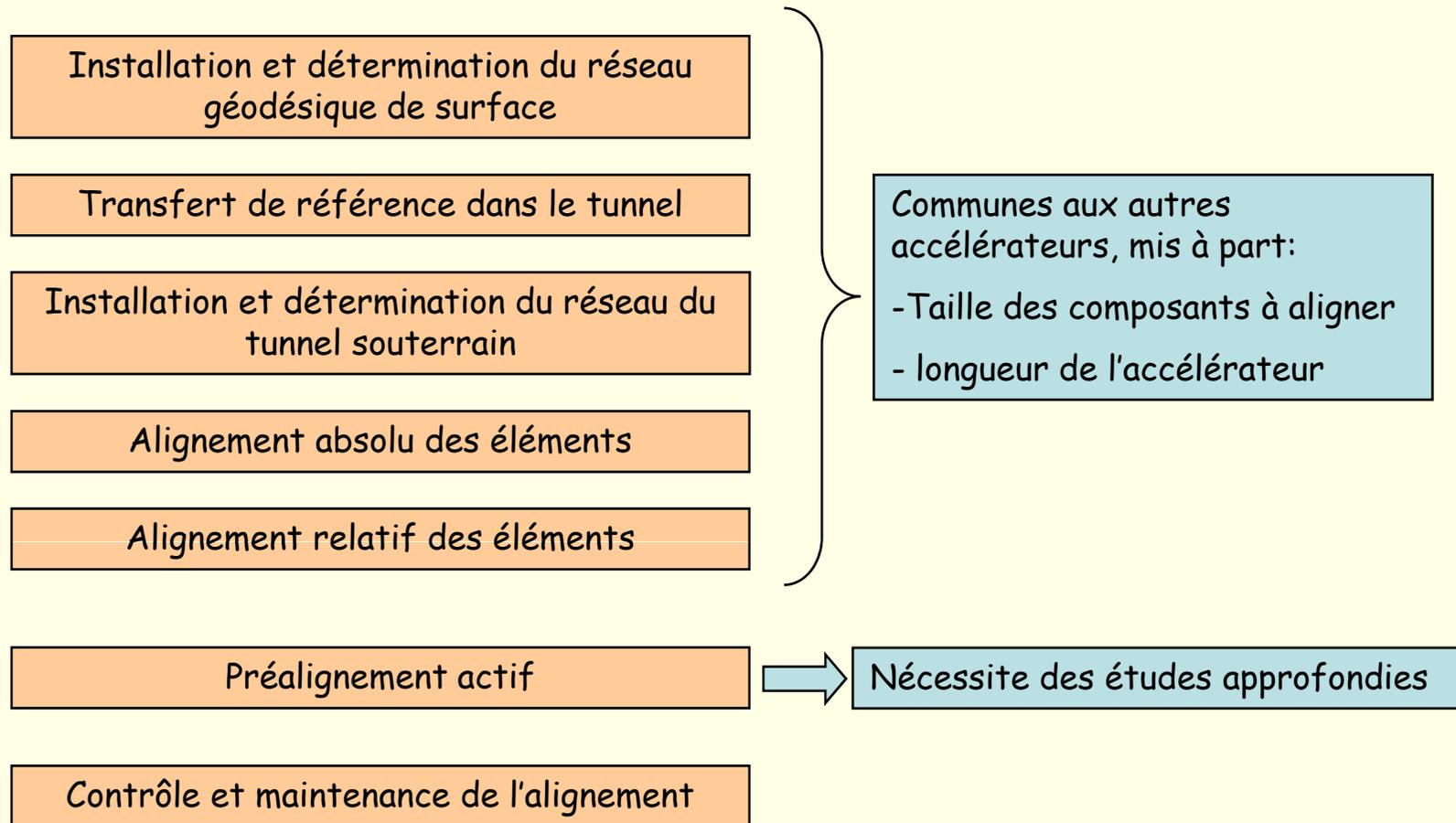
# SOMMAIRE

1. **Objet des études sur le pré-alignement**
2. *Ce qui a été réalisé*
  - Historique
  - Description de la solution de pré-alignement
  - A l'échelle du module
3. *Ce qu'il reste à faire...*
  - Points à résoudre
  - Stratégie suivie
  - Bancs tests et premiers résultats
  - Ressources nécessaires



## LES ETAPES POUR L'ALIGNEMENT DU CLIC

# 1. OBJET DES ETUDES





## POURQUOI UN PREALIGNEMENT ACTIF ?

# 1. OBJET DES ETUDES

Tolérance de  $\pm 10 \mu\text{m}$  sur une fenêtre de 200m concernant le positionnement transverse des composants.

- Les mouvements du sol
- Les variations de température
- L'activité humaine et industrielle autour

} Nécessité  
d'un pré alignement actif

Le préalignement doit être suffisamment précis pour permettre l'envoi d'un faisceau pilote et l'implémentation du « Beam Based Alignment »

Dans le cas du LHC, le lissage des aimants sur 100m à 150m est de  $\pm 0.1 \text{ mm}$  ( $1\sigma$ )

... un facteur 30 entre le lissage du CLIC et du LHC!



1. Objet des études sur le pré-alignement

2. Ce qui a été réalisé

- Historique
- Description de la solution de pré-alignement
- A l'échelle du module

3. Ce qu'il reste à faire...

- Points à résoudre
- Stratégie suivie
- Bancs tests et premiers résultats
- Ressources nécessaires

## 2. CE QUI A ETE REALISE

### LES ACQUIS DU PASSE (1989- >2002)



- Positionnement et maintien de l'alignement de 2 poutres adjacentes dans le micron.
- Développement/mise au point de capteurs micrométriques
- Mise au point de techniques d'alignement associées à ces capteurs
- Mise au point d'un système d'alignement actif
- Mise en situation de ces solutions dans le CTF2.

2. CE QUI A ETE REALISE

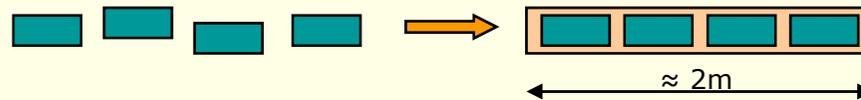
# CONCEPT

La ligne droite de référence s'obtient en propageant des segments droits qui se recouvrent.

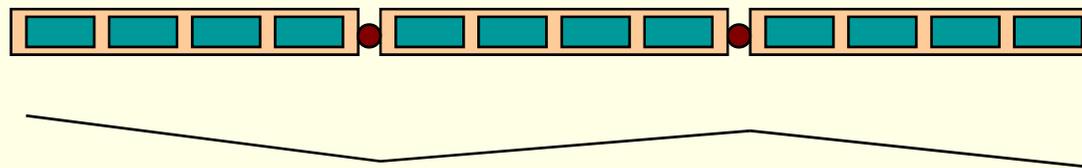


## Zoom

a. Aligner les composants sur une poutre puis aligner les poutres entre elles

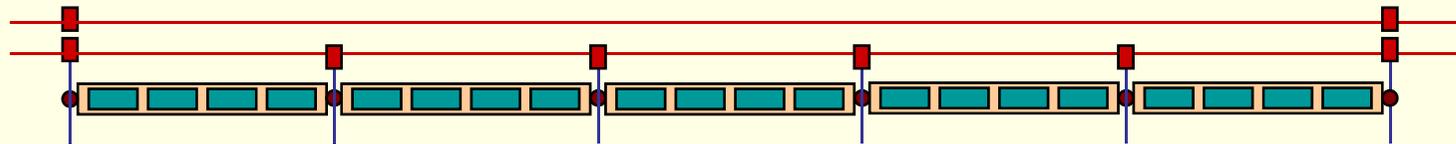


b. Relier 2 poutres entre elles par un point d'articulation (3° liberté)

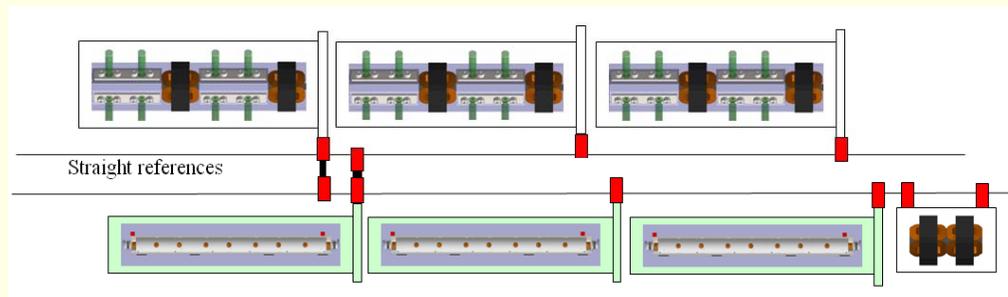


2. CE QUI A ETE REALISE

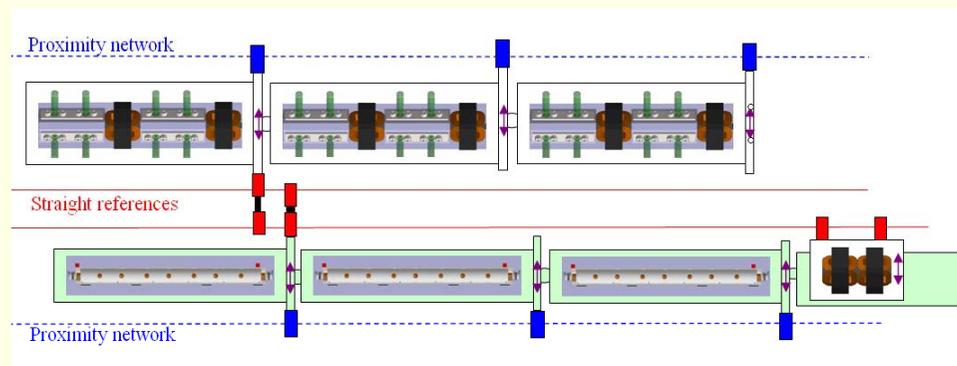
c. Aligner les éléments par rapport à une ligne droite



Au niveau du module...



Solution chiffrée...

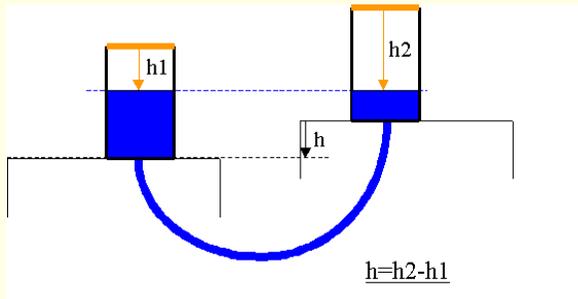


Capteurs low cost

## LES SYSTEMES D'ALIGNEMENT PROPOSES

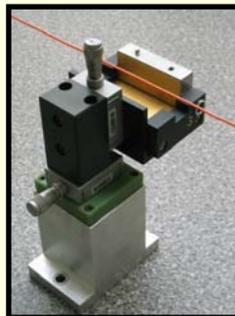
2. CE QUI A ETE REALISE

### Hydrostatic Levelling System (HLS)



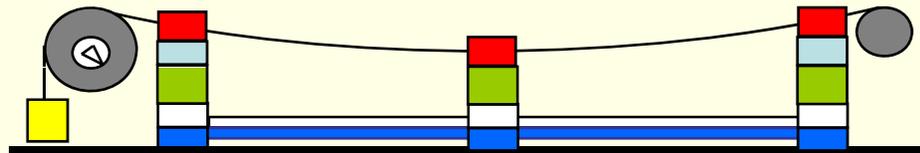
- ✓ Utilise le principe des vases communicants
- ✓ Réseau d'eau = surface de référence
- ✓ Un capteur équipe chaque pot pour déterminer la distance qui les sépare de la surface d'eau.

### Wire Positioning System (WPS)



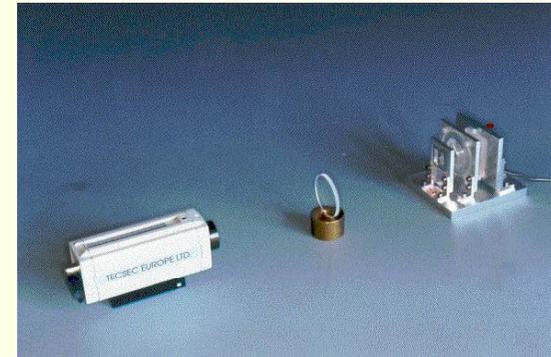
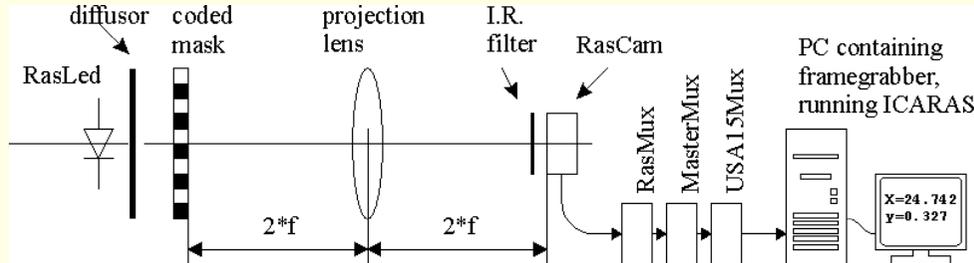
- o Basé sur une technologie capacitive
- o Résolution sub-micrométrique

- ✓ Dans le plan horizontal : fil = ligne droite
- ✓ Dans le plan vertical : fil = chaînette



*Red Alignment System from NIKHEF (RASNIK)*

2. CE QUI A ETE REALISE



- ✓ Résolution: 0.01 $\mu$ m
- ✓ Course: 5mm
- ✓ Incertitude de mesure avec  $2.f = 2.5 \text{ m} : 1 \mu\text{m}$
  
- ✓ Développé par NIKHEF
- ✓ Rayons lumineux presque insensibles à la gravité
- ✓ Mais limité par le milieu sur de grandes distances

## SYSTEMES D'ALIGNEMENT ET GRAVITE

Les réseaux de métrologie doivent garantir l'alignement rectiligne des 2 linacs.

Les référentiels (fil et surface d'eau) sont sensibles aux variations de gravité dues:

- ✓ à la courbure de la terre, l'altitude, la latitude
- ✓ la distribution des masses dans le voisinage
- ✓ l'attraction de la lune et du soleil



### Influence sur le système WPS :

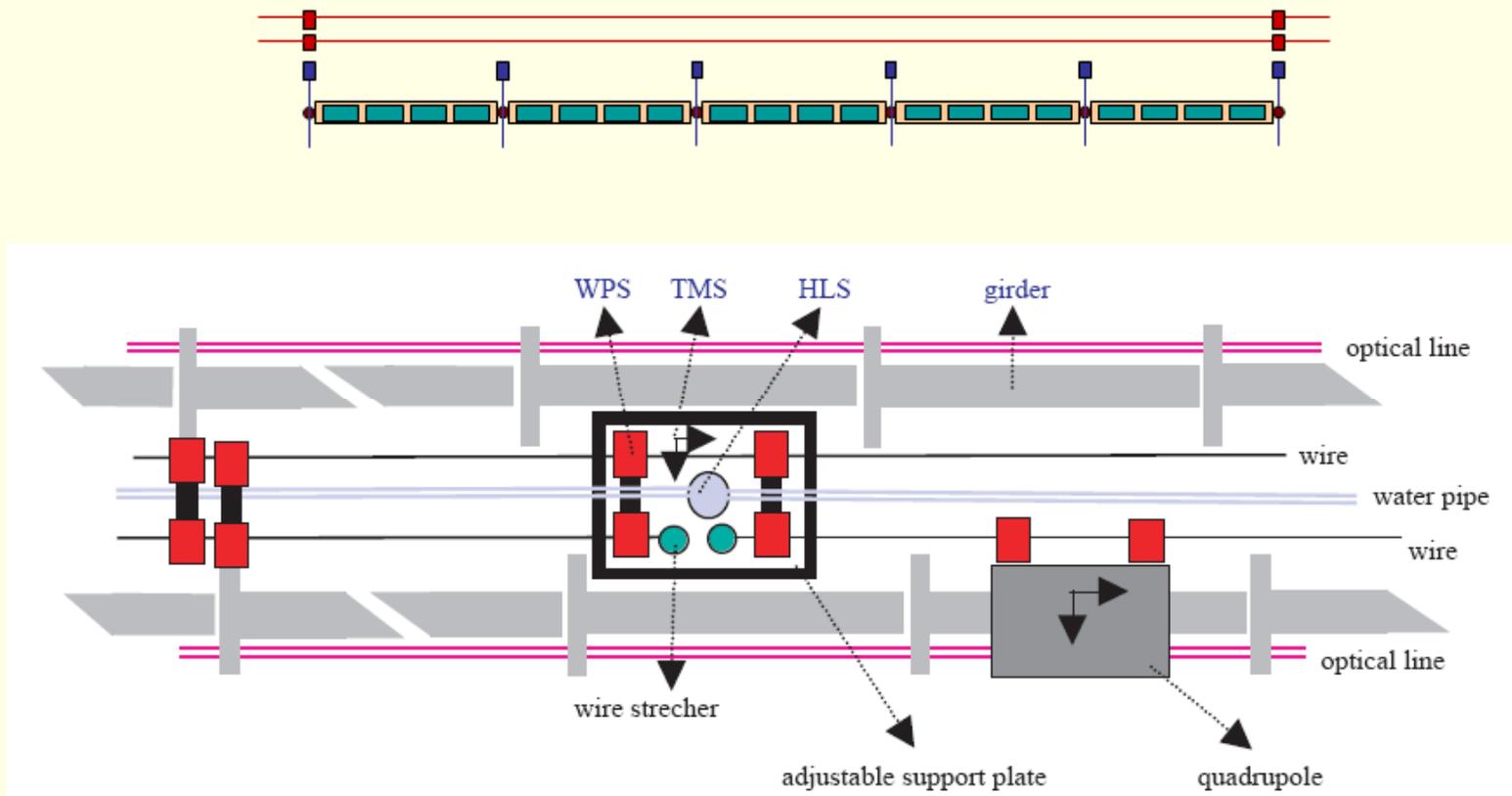
La non uniformité du champ gravitationnel due aux effets combinés de la latitude, de l'altitude et la déviation de la verticale peut déformer le fil de façon significative (jusqu'à 15  $\mu\text{m}$ ), mais peuvent être corrigées (résultat théorique devant être confirmé de façon expérimentale)

### Influence sur le système HLS :

- ✓ HLS affecté par les marées océaniques et terrestres, mais des corrections peuvent être appliquées.
- ✓ Effet des masses avoisinantes: la surface d'eau suit le géoïde. Ainsi, l'incertitude de la détermination du géoïde doit être strictement ajoutée à celle de l'alignement vertical.

## CONFIGURATION DE CAPTEURS

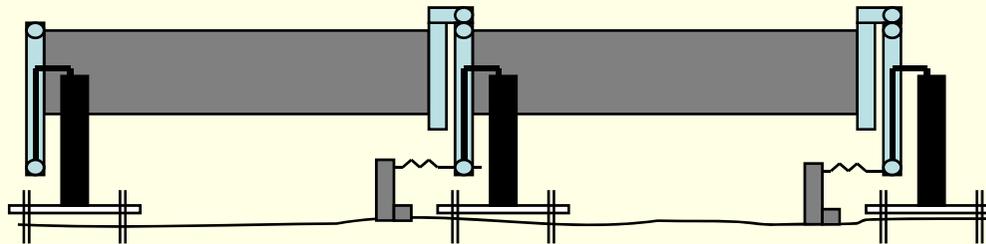
2. CE QUI A ETE REALISE



Des simulations ont montré qu'avec les options choisies, les défauts d'alignement étaient compris entre 8 et 14  $\mu\text{m}$  sur une fenêtre coulissante de 200m.

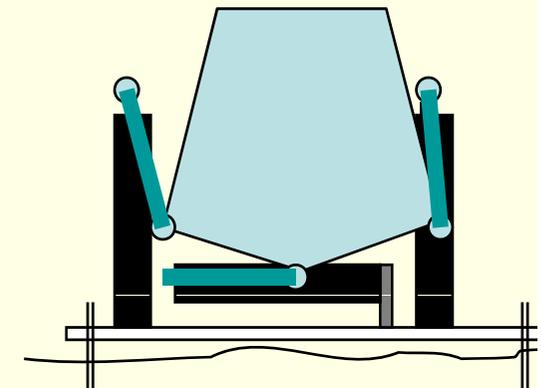
## UNE STRUCTURE MECANIQUE ARTICULEE

# 2. CE QUI A ETE REALISE



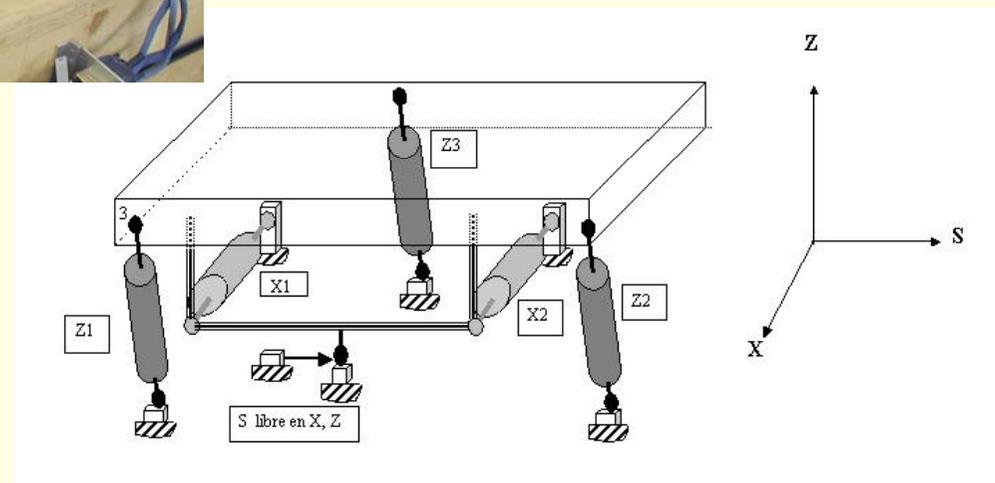
Avantages:

- ✓ Lissage naturel
- ✓ Mécanique testée et validée sur CTF2
- ✓ Seulement 3 degrés de liberté (coût)



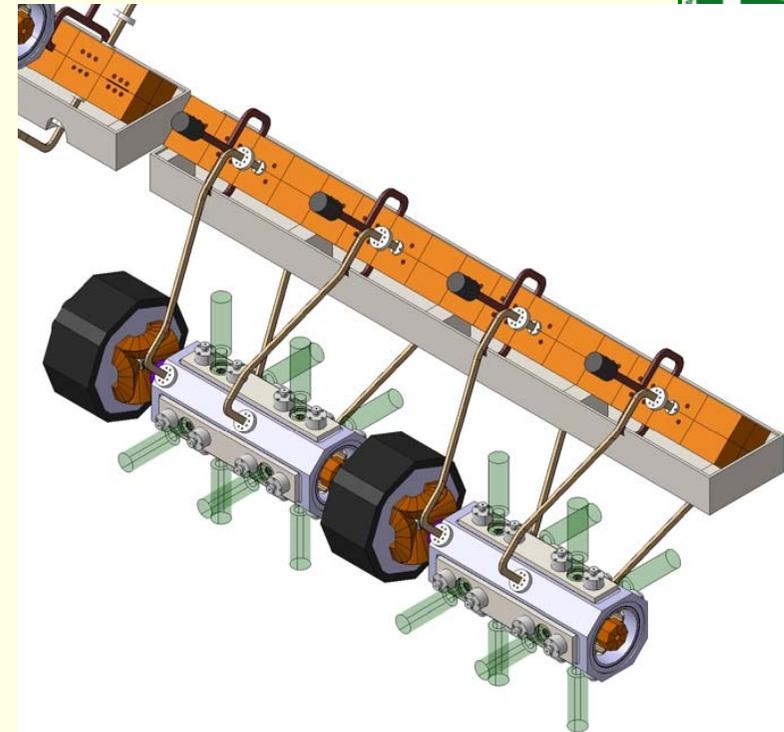
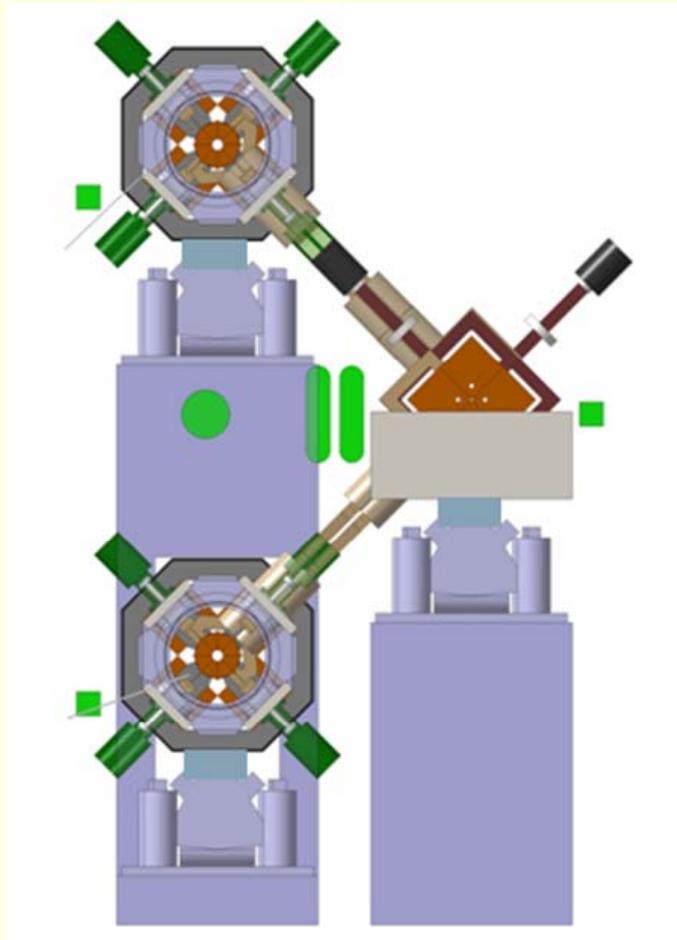
# LE SUPPORTAGE DES QUADRUPOLES

2. CE QUI A ETE REALISE



## LE MODULE...

# 2. CE QUI A ETE REALISE



### Fiducialisation:

- définir les axes et points de référence
- matérialiser les points
- étudier et choisir les méthodes de mesure
- limiter les effets de bras de levier amplificateurs



## BUDGET D'ERREURS...

# 2. CE QUI A ETE REALISE

	Link	Errors description	Origin
Fiducialisation	<b>E1: Link "local" reference / straight reference line</b>	Error on the "reconstruction" of the straight line using overlapping references - Link between the 2 reference points of the straight line and the local references.	Positioning
	<b>E2: Link sensor / "local" reference</b>	Error on the reference surface of the sensor support w.r.t. the "local" reference  - stability of the reference - interchangeability of the sensor - uncertainty of the measurement of the sensor	positioning
	<b>E3: Link sensor/cradle</b>	Error on the reference surface of the sensor support wrto the reference surface of the cradle - connection between sensor reference plate and cradle	mechanical
	<b>E4: Link cradle/girder</b>	Error on the mecanical references position of the girder wrto the 2 adjoining articulation points - connection between the cradle and the girder (default at the level of the articulation point) on one side	mechanical
	<b>E5a: Link girder/acc. structure</b>	Error on the mean axis of the accelerating structure wrto the mech. Reference of the girder - positioning of the accelerating structures on girder - BPM measurement	mechanical
	<b>E5b: Inherent precision of structure</b>	Error on accelerating structure position wrto the mean axis of the accelerating structures - geometry of the accelerating structure	mechanical



# BUDGET D'ERREURS...

2. CE QUI A ETE REALISE

Link	<i>In case of overlapping reference =wire, "local" reference = wire</i>				<i>In case of overlapping reference =wire, "local" reference = RASNIK</i>			
	Budget error (feasible)	Error origin on 200m	Error on 200m	Error on correction	Budget error (feasible)	Error origin	Error on 200m	Error on correction
<b>E1: Link "local" reference / straight reference line</b>	TBD	Gravity	+/- 15 microns	TBD	TBD	Gravity	+/- 15 microns	TBD
		Modelization "coriolis" type	+/- 10 microns +/- 30 microns	TBD TBD		Modelization "coriolis" type	+/- 10 microns +/- 30 microns	TBD TBD
<b>E2: Link sensor / "local" reference</b>	+/- 5 microns on 20m				<b>TBD on 20m</b>	RASNIK: no more than 20m (otherwise under vacuum)		
		Gravity	+/- 15 microns	TBD		No Gravity influence		
		Modelization	+/- 10 microns	TBD		No modlization		
		"coriolis" type	+/- 30 microns	TBD		No "coriolis" type		
<b>E3: Link sensor/cradle</b>	+/- 5 microns according to CTF2							
<b>E4: Link cradle/girder</b>								
<b>E5a: Link girder/acc. structure</b>								
<b>E5b: Inherent precision of structure</b>								



# SOMMAIRE

1. Objet des études sur le pré-alignement
2. Ce qui a été réalisé
  - Historique
  - Description de la solution de pré-alignement
  - A l'échelle du module
3. Ce qu'il reste à faire...
  - Points à résoudre
  - Stratégie suivie
  - Bancs tests et premiers résultats
  - Ressources nécessaires



### 3. CE QUI RESTE A FAIRE...

## LES POINTS A RESOUDRE...

### Pour la faisabilité :

- Influence de la gravité sur les systèmes d'alignement
  - Détermination du géoïde
  - Remise en cause du HLS pour modéliser le fil
- Connaissance des systèmes d'alignement (incertitudes, influence des paramètres), recherche d'un nouveau fil
- Configuration des systèmes d'alignement d'après les tolérances demandées.
- Compatibilité entre solutions de stabilisation et de préalignement
- Intégration des solutions d'alignement au niveau du module, adaptation de la mécanique
- Final Focus?

### Pour l'industrialisation, l'optimisation:

- Détail de la méthode globale, aspects géodésiques, pour chiffrer le coût et les moyens
- Industrialisation des actuateurs, capteurs, contrôle/commande

### Stratégie

Etude par l'OFTB

Calculs théoriques

LHC, manip TT1

Simulations

WG, FP7

WG, FP7, test sur CLEX

FP7

Simulations, études

Nvx capteurs, études, test sur CLEX



### 3. CE QUI RESTE A FAIRE...

## LA STRATEGIE...

#### Etudes en cours:

- Etudes sur le géoïde (Office Fédéral de Topographie de Bern)
- Définir les sources d'erreurs
- Simulations suivant la configuration des systèmes d'alignement
- Manip TT1: modélisation du fil, détermination et validation des incertitudes de mesure des systèmes d'alignement
- Manip TT83: augmentation de la longueur d'un fil à 500m.
- Proposer une solution optique alternative au fil tendu

#### Etudes à lancer:

- Détailler la solution d'alignement général
- Influence de la gravité sur les systèmes d'alignement et détermination du géoïde
- Optimisation des solutions mécaniques, actuateurs, contrôle/commande au niveau du module
- Solutions low cost de capteurs
- Validation finale sur le CLEX

Suivi dans le CLIC module Working Group de l'intégration des systèmes d'alignement, et toutes les questions relatives à la fiducialisation, au préalignement actif.

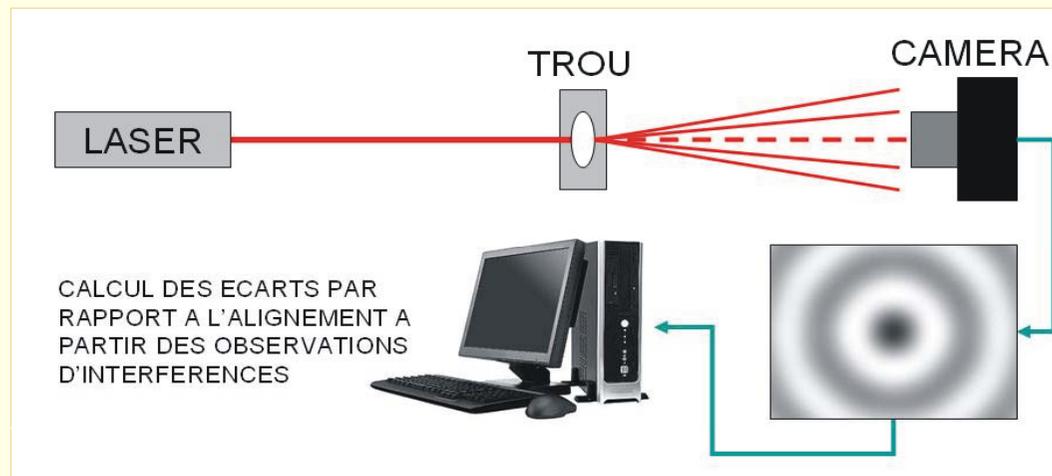
# 3. CE QUI RESTE A FAIRE...

## LE SYSTEME RASCLIC (en collaboration avec NIKHEF):

Objectif: fournir les positions transverses de plusieurs cibles distribuées le long de plus de 100m, avec une incertitude meilleure que 5 microns.

La référence est définie par un faisceau laser sous vide entre un point source et un détecteur (RASCAM du système RASNIK)

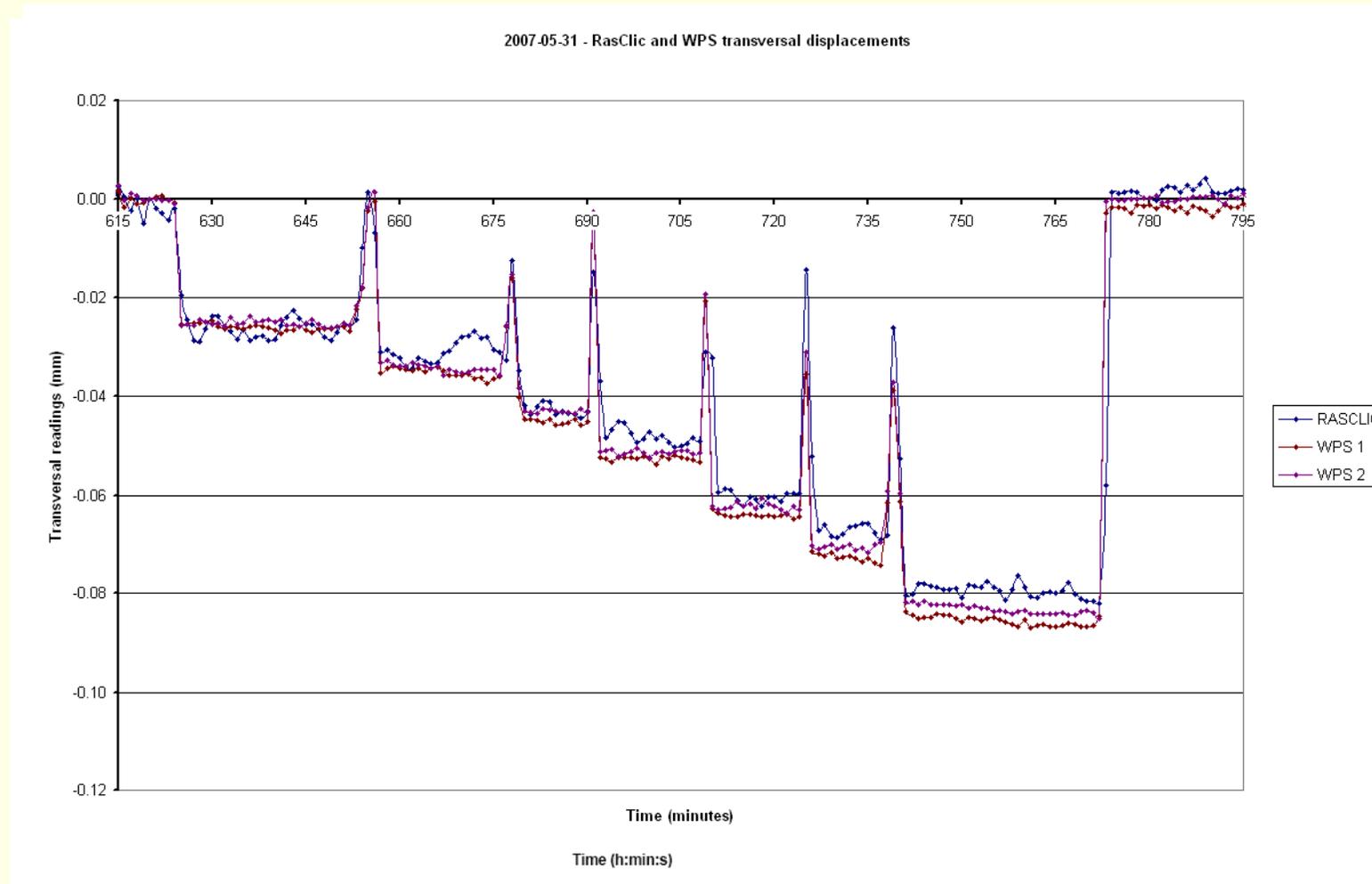
→ Utiliser des cibles avec un trou et déterminer le centre du modèle de diffraction sur le détecteur.





## LE SYSTEME RASCLIC: Premiers résultats et futurs développements

# 3. CE QUI RESTE A FAIRE...





## LA MANIP TT1... Objectifs

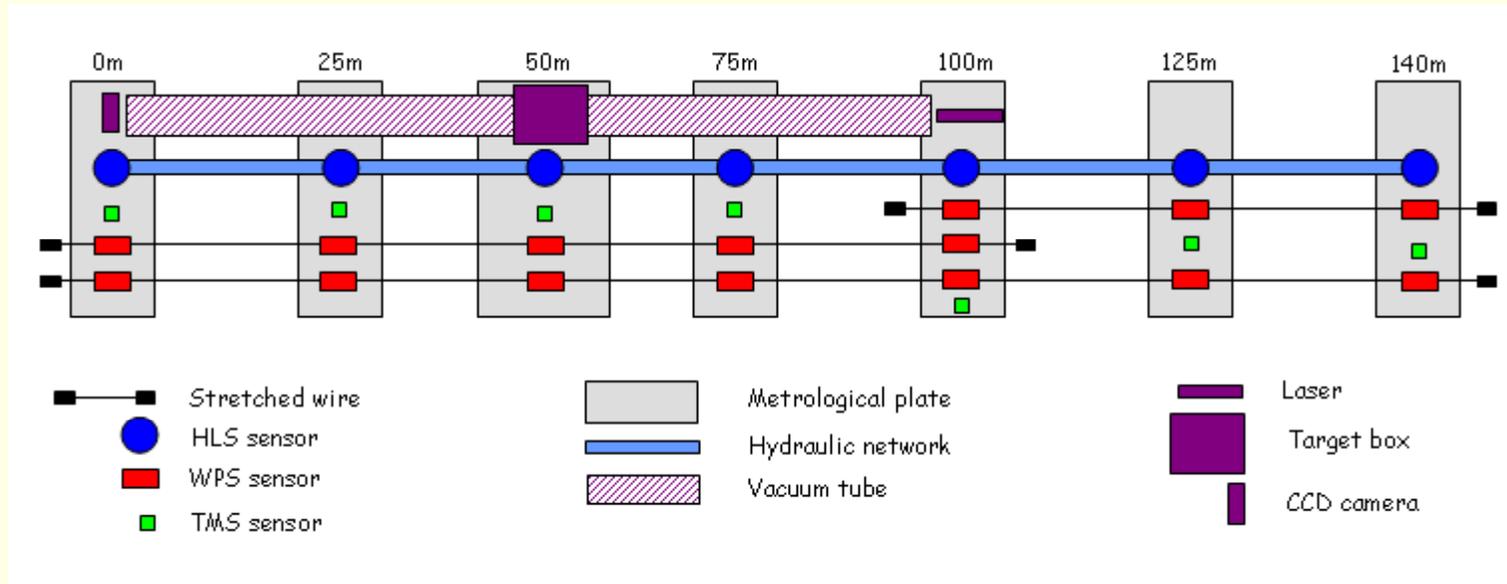
### 3. CE QUI RESTE A FAIRE...

Etude du système d'alignement à fil WPS: influence de la longueur du fil sur la qualité des mesures, protection du fil, modélisation de la chaînette et influence de paramètres tels que la température ou des perturbations dues à la gravité

- Etude du système optique proposé par NIKHEF: diffraction, alignement, perte de cohérence du laser, choix des cibles, réflexion dans le tube, instabilités du laser et influence de paramètres tels que la température.
- Comparaison entre les différents systèmes d'alignement WPS, HLS, RASCLIC
- Confirmation des hypothèses utilisées pour les simulations:
  - $\sigma = 5 \mu\text{m}$  pour l'incertitude de mesure d'un écart horizontal sur un fil
  - $\sigma = 8 \mu\text{m}$  pour l'incertitude de mesure d'un écart vertical sur un fil
  - $\sigma = 7 \mu\text{m}$  pour l'incertitude de mesure sur les dénivelées.

# LA MANIP TT1... Synoptique

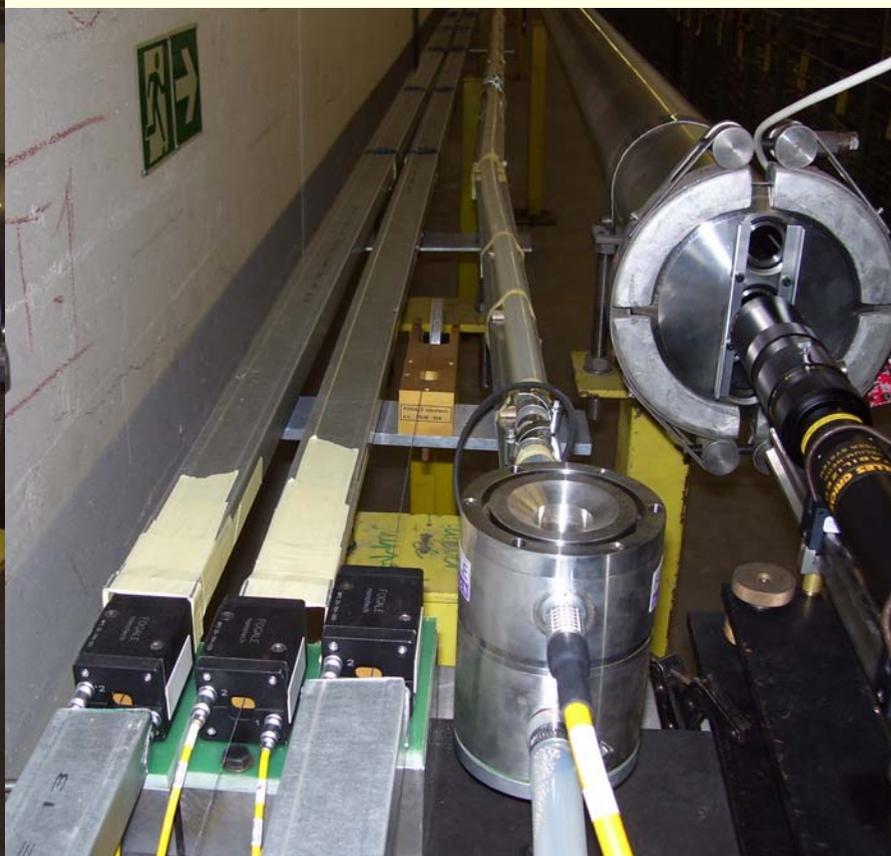
3. CE QUI RESTE A FAIRE...





TT1 tunnel







## LA MANIP TT1... Premiers résultats et futurs développements

### 3. CE QU'IL RESTE A FAIRE

#### Premiers résultats :

- Meilleure connaissance des systèmes d'alignement
  - Modélisation de l'influence de la température sur les systèmes HLS
  - Modélisation de l'influence de l'humidité sur les WPS
- Très bonne stabilité long terme des systèmes d'alignement
- Très bonne résolution en relatif, mais pas en absolu
- Qualité des mesures comparable sur un fil de 140m et de 50m.

#### Futurs développements:

- Modélisation du fil tendu
- Influence de la gravité

## MANIP FIL 500 m

# 3. CE QU'IL RESTE A FAIRE





## MOYENS...

### 3. CE QUI RESTE A FAIRE...

Actuellement: un boursier profil géomètre 100% CLIC

Début 2008: constitution d'une équipe CLIC - SU

- ✓ Un géomètre doctorant pour les problèmes liés à la géodésie
- ✓ Un géomètre doctorant pour la conception générale du système d'alignement
- ✓ Un mécanicien géomètre pour l'étude de la fiducialisation, conception du module de 2m, faire le lien avec les études de stabilisation
- ✓ Un spécialiste électronique / automatique pour l'optimisation des actuateurs, du contrôle / commande

L'optimisation des capteurs à fil peut être confiée à l'extérieur, mais il serait souhaitable que cette technologie soit une technologie CERN, vu le nombre de capteurs à acquérir (profil spécialiste optique)



# 3. CE QUI RESTE A FAIRE...

## MOYENS...

Doctoral student B, doctoral student A et Fellow F1 pris sur le budget et les quotas de TS

Budget matériel 2007-2010:  
600 kCHF.

<b>Global concept of alignment methodology</b>		
	Doctoral student A	50%
	<i>Material</i>	50 kCHF
<b>Geodesy aspects</b>		
	Doctoral student B	100%
	<i>Material</i>	70 kCHF
<b>Mechanics and sensors</b>		
	Doctoral student A	50%
	Fellow F1	50%
	A. BEYNEL (TS/SU)	10%
	M. ROUSSEAU (TS/SU)	20%
	A. HERTY (TS/SU)	20%
	<i>Material</i>	150 kCHF
<b>Automation, actuators and software</b>		
	Fellow F2	50%
	A. MARIN (TS/SU)	20%
	<i>Material</i>	60 kCHF
<b>Management of the studies</b>		
	H. MAINAUD DURAND	60%
<b>CTF and CLEX facilities</b>		
	T. DOBERS (TS/SU)	20%
	<i>C180</i>	60 kCHF
<b>Test benches (module test bench, long distance test bench)</b>		
	Fellow F2	50%
	Fellow F1	50%
	A. HERTY (TS/SU)	10%
	A. MARIN (TS/SU)	10%
	M. ROUSSEAU (TS/SU)	10%
	A. BEYNEL (TS/SU)	10%
	<i>Material</i>	200 kCHF + ?