



L'alignement des accélérateurs du CERN: dans quel contexte contractuel

quoi,
avec quelles ressources,
comment,
avec quels résultats.

Séminaire TS, – Archamps - 5 mai 2004



... Sommaire

- Un contexte unique pour un travail très particulier
 - L'environnement
 - Les dimensions
 - La diversité
 - Les instruments
 - Les méthodes
- Deux contrats pour ces travaux
 - Les choix
 - La méthode
 - Les conditions
- Les premiers enseignements
 - Par contrat
 - Globalement



...c'est différent

- Les dimensions des installations
 - >50 km de lignes de faisceaux, > 10'000 éléments à maintenir alignés correctement.
 - Le nombre d'éléments à mesurer et réaligner chaque année.
réalignement complet du SPS réalisé en 6 mois - ~1654 éléments
- La diversité des éléments à aligner
 - ~700 types d'éléments différents (détecteurs, aimants...etc)
 - entre les machines (époques de fabrication)
 - entre les cultures et origines (laboratoire européen,
 - les types de références d'alignement
 - les système de réglages (cales, chandelles, vérins...). A chaque type de supportage sa technique d'alignement !!
- Le modèle terrestre de référence
 - implications dans les programmes de calcul (géoïde, calculs tridimensionnels...).

- La précision

- Les précisions à atteindre sont celles qui s'obtiennent d'ordinaire dans un local climatisé sur une longueur de quelques mètres.
- Ici les **précisions** sont à atteindre sur **des objets de plusieurs km**. Précision de 10^{-6} (courant) et parfois 10^{-7} , soit 1m



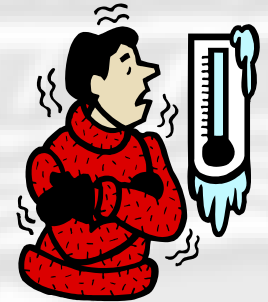
Le maximum,
Of course...!

Et vous voulez
quelle précision ?



...c'est différent

- Si les techniques de base sont simples,
TOUS les détails de mesures comptent:
 - erreurs dues à l'environnement (atmosphère, sources de chaleur parasites...)
 - erreurs dues aux instruments
 - erreurs dues aux objets à mesurer eux-mêmes (champs magnétiques, effets de vide, température...)
 - **Tous ces éléments sont très souvent ignorés ou pas pris en compte de façon précise habituellement dans la profession car ce n'est pas nécessaire.**
- Le sens de la mesure



$$1 + 1 \neq 2$$

...c 'est différent

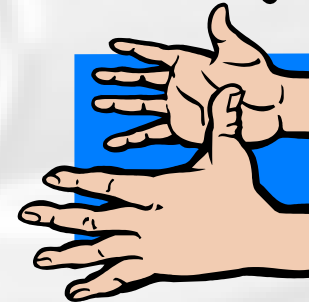
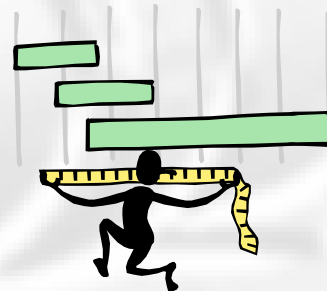
- Les méthodes

- Rapidité
- Précision
- Redondance
- Contrôle - analyse

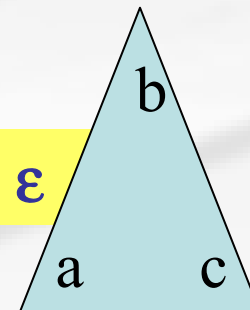
Ne jamais croire une mesure seule



Mélanger les types de mesures



Solution: redondance !!! $a + b + c = 180 + \varepsilon$





...les instruments

- Au début du CERN, les techniques métrologiques étaient quasiment inexistantes.
- Nécessité de trouver autre chose
 - Le distivar - mesure de distances au fil d'invar
 - Les écartomètres à fil (utilisés pour l'alignement radial de tous les aimants)
 - Les accessoires de métrologie (utilisés pour tous les travaux d'alignements et de mesures)

- inventés, mis au point au CERN.
- utilisés seulement au CERN ou dans quelques laboratoires (ESRF, Frascati). Quelques rares utilisations de l'invar dans l'industrie.



...les instruments

- Une base d'étalonnage
 - Unique en Europe pour les mesures d'écart à un alignement.
 - Presque unique en Europe pour les mesures de distances (ESRF, ETH Zurich) .

- A première vue les instruments du CERN qui viennent du commerce paraissent comme les autres, mais...
 - Dans certains cas, ils sont triés chez le constructeur (distancemètres)
 - Ils sont parfois modifiés par le CERN
 - Ils sont étalonnés, au CERN, pour améliorer la précision.
 - Certains n'existent plus sur le marché, ne sont pas remplacés, mais sont pourtant bien utiles (ex. Le Mékomètre) pour le CERN.
- Le cas du gyroscope. Les entreprises de génie civil ont très difficilement trouvé 2 gyroscopes précis en Europe.

- Confier à une entreprise
 - Ce qui est répétitif
 - Ce qui est définissable
 - En quantité
 - Dans le temps
 - En qualité
 - Dans les conditions de réalisation
- Imposer les méthodes
- Mettre les instruments à disposition

- Ce qui est confié à une entreprise (OR)
 - La fiducialisation des cryo-aimants
 - La mesure /le contrôle des réseaux de référence
 - Les marquages au sol
 - Le 1er alignement dans les arcs du LHC
 - Les lissages finaux
 - Les alignements dans les TI (TI2 et TI8)
- Obligation de moyen
 - Les LSS (inner triplets exclus)
 - Les complexes PS et SPS

- Ce qui est exclu
 - Les zones spéciales (insertions low beta, zones de cibles, CLIC,... par ex.)
 - Les études, le choix des méthodes
 - Les analyses et calculs
 - Les étalonnages
 - La maintenance de la database

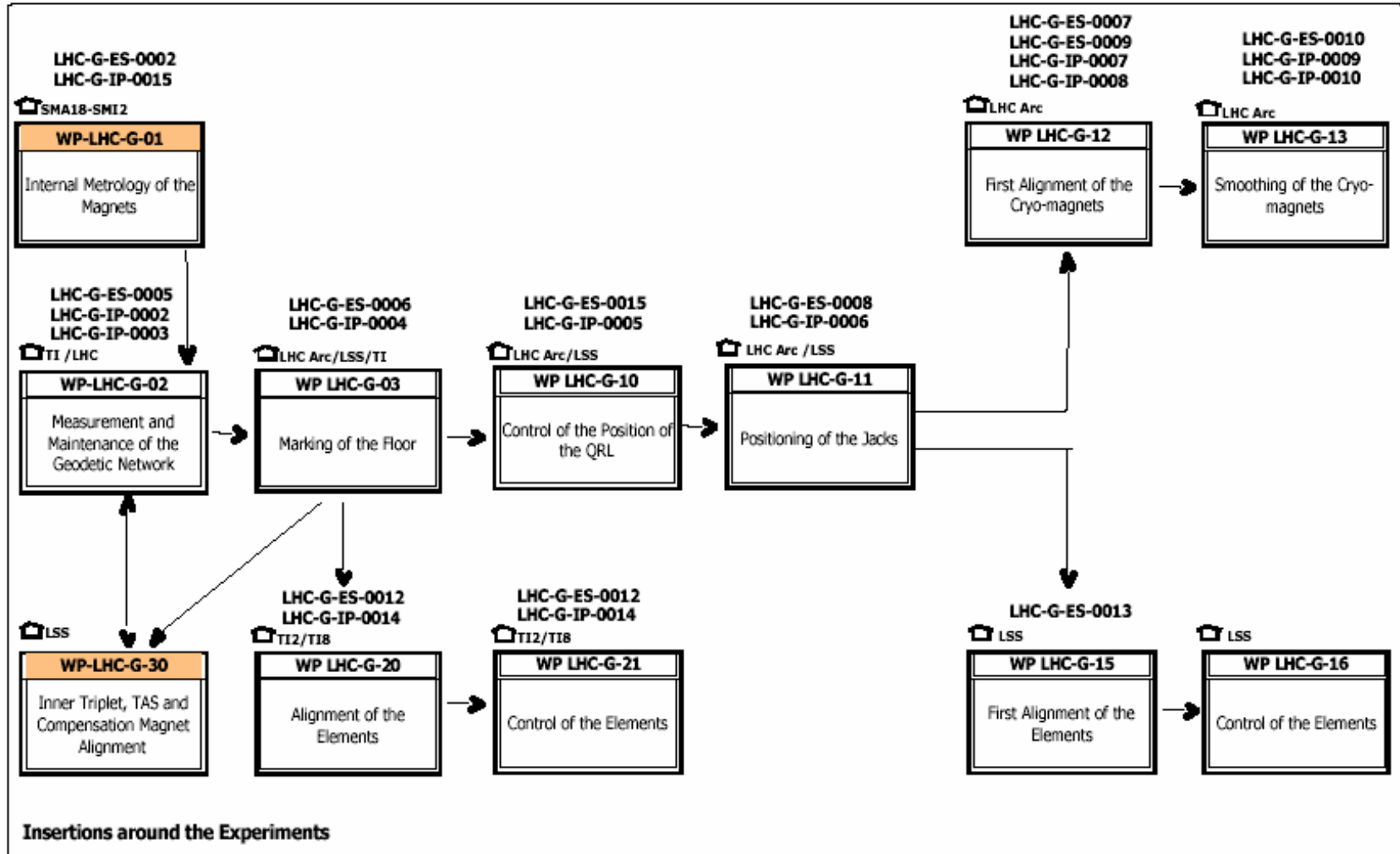
CERN
CH-1211 Geneva 23
Switzerland



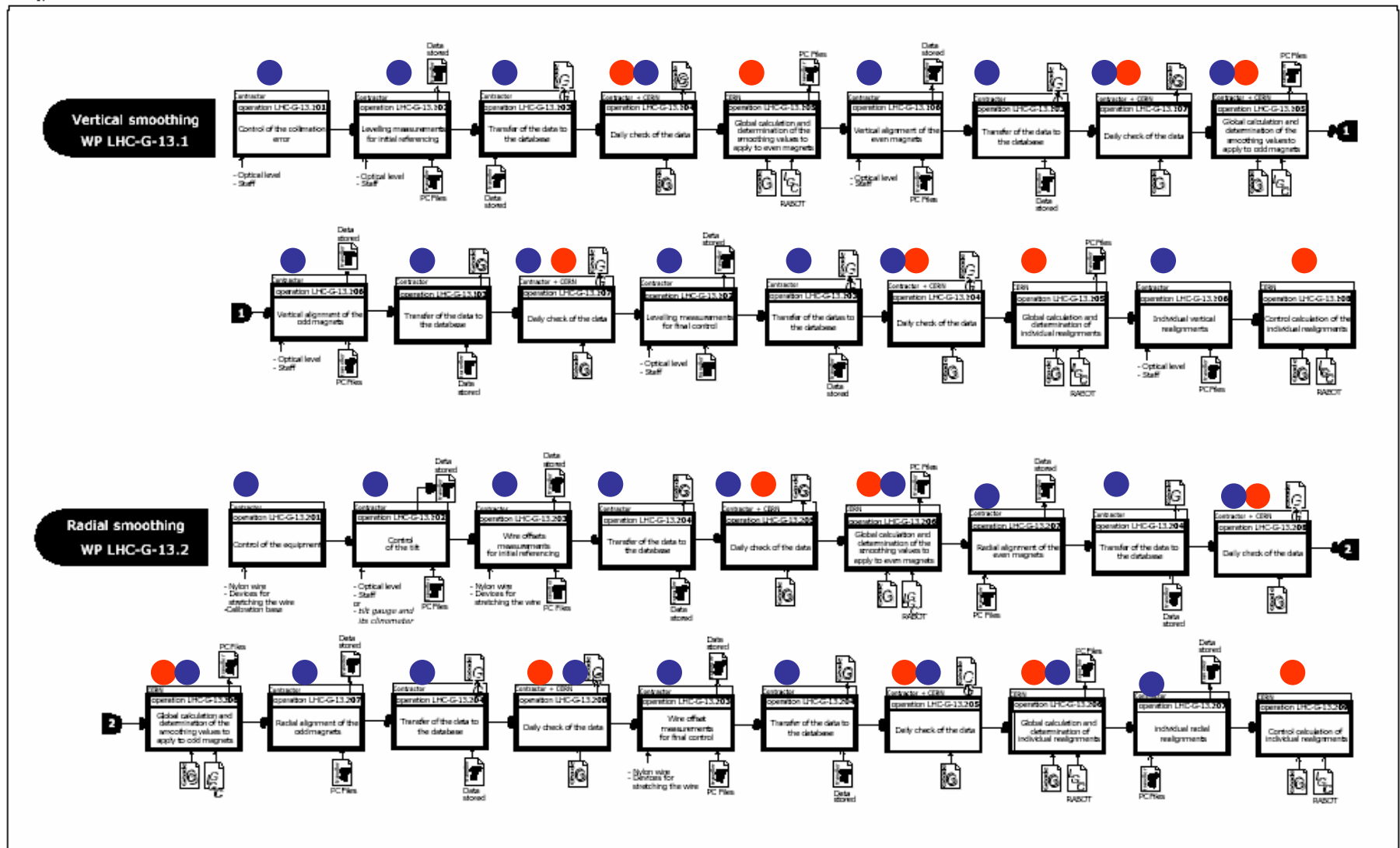
Alignment of the LHC Components Organisation of Work Packages

| |
|---------------|
| LHC-G-IP-0001 |
| EST/SU |
| 334671 |

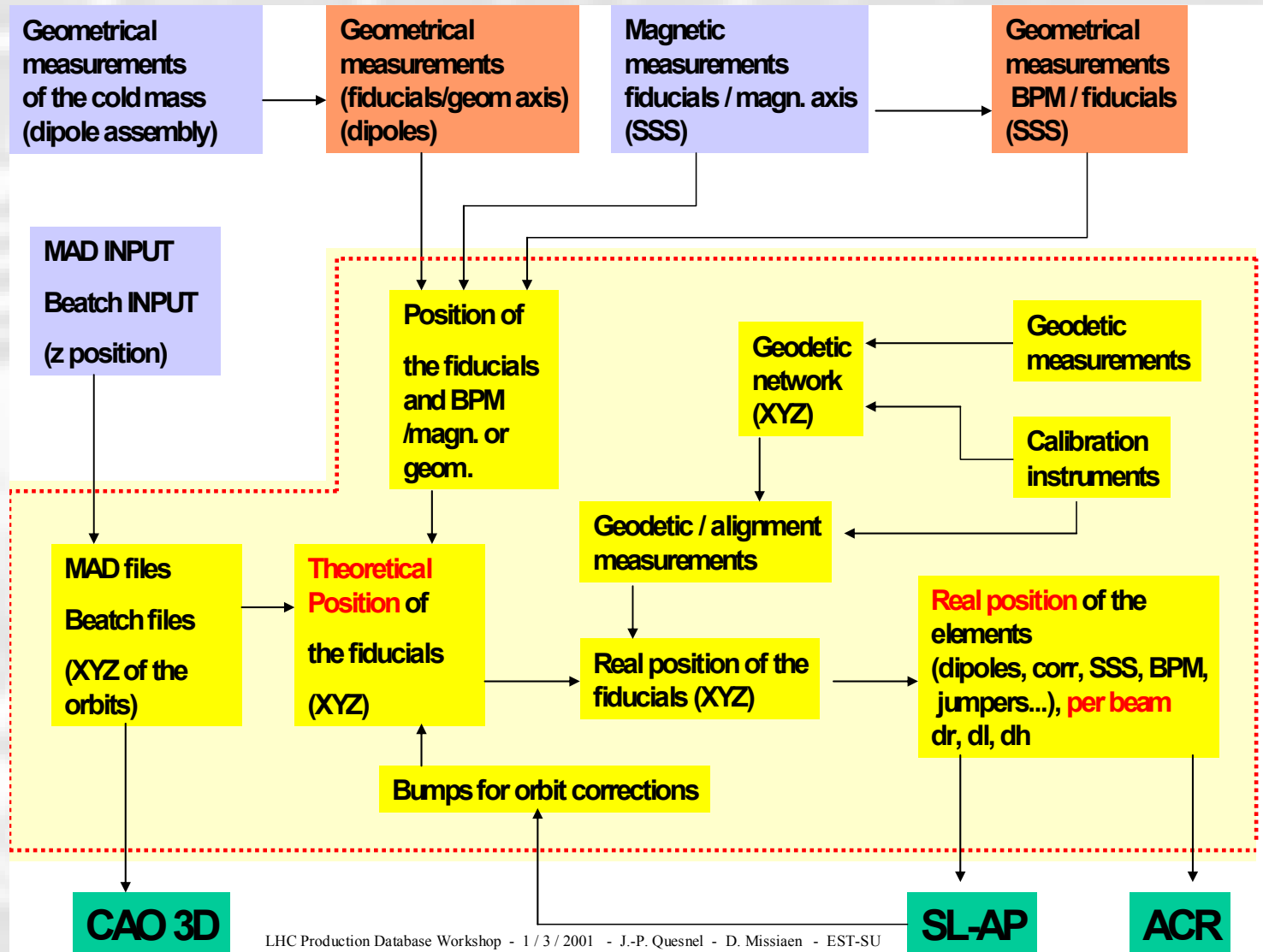
Date : 2002-04-19



Smoothing of the cryo-magnets Operation WorkFlow Diagram – WP LHC-G-13



- Une base de données depuis 1985 pour tous les faisceaux



- Les travaux réalisés
 - Compléments sur les réseaux géodésiques
 - Travaux préparatoires
 - Marquages au sol
 - Mesures tel que construit d'ouvrages
 - Travaux de fiducialisation et cartographie des cryo-dipoles
 - Alignement de la ligne TI8 (partiellement)

- Très peu de firmes sont compétentes
 - Travaux de fiducialisation: peu de firmes utilisent cette technologie
 - Travaux d'alignement: on ne construit pas un accélérateur de particules tous les jours. Les firmes n'ont aucune idée du travail, des cadences, des implications.
- Une formation est à priori nécessaire
- Et si elles nous abandonnent...?

- Nécessite l'écriture des documents
 - Analyse indispensable.
 - Circuit d'approbation = tous les acteurs « devraient » connaître le travail, ses objectifs, ses conditions.
 - Apport des connaissances de chaque spécialiste.
 - Transmission des connaissances
 - Mais ce n'est qu'un modèle...
- Le travail répétitif est fait par d'autres
- Un suivi très précis est nécessaire

- Une préparation minutieuse est rendue nécessaire
 - Préparation SU
 - Préparation des autres corps de métiers (exemples: TI8, SMA18)
- Le suivi est très lourd et nécessite du personnel CERN quand même

- Manque de souplesse
 - La valse des plannings
 - Mal adapté aux travaux non/mal définis
 - Volume de travail trop petit pour le contrat de fiducialisation, pas de marge de manœuvre.
 - Tout écart par rapport aux spec peut être source de conflit....et source de surcoûts.

- C183 : fiducialisation des cryo-aimants
 - C'est un contrat qui comprend
 - 1232 fiducialisations dipoles (4h)
 - 1232 cartographies dipoles (2.25h)
 - 474 alignements BPM/écran de faisceau pour les SSS
 - 474 cartographies SSS
 - Ce sont des petites tâches pour lesquels les prix ont été calculés au plus juste par l'Entreprise
 - Opérations réalisées dans une chaîne de production, le moindre retard est catastrophique pour l'entreprise et est source de conflits et de surcoûts
 - Gestion lourde pour le CERN qui passe son temps
 - À trouver du boulot à l'entreprise
 - À vérifier la qualité du travail
 - A vérifier les non-conformités de planning



...le bilan

- Partage des tâches nécessaire, mais frustrant pour l'entreprise et pour le CERN. (larbins)
- Très peu de « marge de manoeuvre pour l'entreprise ».
- Les techniciens CERN peuvent perdre leur technicité
- Merci aux entreprises qui travaillent « avec » nous.

- Où est l'intérêt...?
 - Trop de spécifications, pour ne pas perdre 40 ans d'expérience.
 - Surcoûts pour le suivi.
 - Surcoûts pour les modifications des spéc.
 - Pas d'OR possible en dehors des opérations répétitives.
 - Le CERN peut perdre sa technicité, s'il n'y prend garde. Le sens de la mesure ne s'invente pas.