

LE SYSTEME RF PENDANT LA PREMIERE ETAPE DU  
PROGRAMME D'AMELIORATION DU PS

de

J. Jamsek et G. Roux

L'étape intermédiaire est caractérisée principalement par l'augmentation du taux de répétition due au  $\dot{B}$  double que la nouvelle alimentation sera capable de livrer. Il s'agit donc d'une économie du temps par cycle, à laquelle contribueront surtout le temps de  $\dot{B}$  négatif et le temps mort. Le, ou les paliers étant programmés, il reste à déterminer ce que l'on pourrait gagner pendant le  $\dot{B}$  positif, sans perturber le fonctionnement normal de la machine.

Le facteur limitatif est l'insuffisance de la tension d'accélération, imputable aux cavités. D'autre part, il reste à vérifier s'il n'existe pas d'autres limitations dans l'appareillage RF, liées à un  $\dot{F}$  plus élevé.

1. Principe de mesure

Actuellement, nous disposons de 15 unités d'accélération \*) dont chacune donne sur la fente d'accélération 10,2 kV, la tension totale nominale par tour étant de 153 kV crête.

---

\*) Après le grand arrêt en automne 1969, il ne restera que 14 unités d'accélération. Cavité 16 devra céder la place à l'ejection pour les anneaux de stockage.

La relation entre la tension d'accélération crête ( $V_{RF}$ ) et le taux de montée du champ magnétique  $\dot{B}$  pour une particule stable est

$$V_{RF} \cdot \sin\varphi_s = R \cdot L \cdot \dot{B}$$

L : la circonférence de la machine

R : le radius magnétique de la machine

Le produit  $V_{RF} \cdot \sin \varphi_s$  définit les dimensions du poisson d'accélération en énergie et en phase. Il doit être grand après l'injection pour favoriser le processus de capture. Celui-ci terminé, les protons sont "comprimés" en paquets, dont la largeur en phase diminue en fonction de l'énergie (fig. 1). Par conséquent, un poisson réduit peut assurer une accélération sans pertes pendant la plupart du cycle d'accélération. En d'autres termes, on peut

ou augmenter  $\dot{B}$  en gardant  $V_{RF} \cdot \sin \varphi_s$  constante,

ou diminuer  $V_{RF} \cdot \sin \varphi_s$  en gardant  $\dot{B}$  constant.

Le premier cas caractérise la situation que l'on aura pendant l'étape intermédiaire, le deuxième l'état actuel et les conditions dans lesquelles nous avons effectué les mesures.

Etant donné que le nombre de cavités ne restera pas constant, les résultats des mesures ne sont pas donnés directement en  $\dot{B}$  correspondant, mais en  $V_{RF}$  minimum nécessaire. Le  $\dot{B}$  correspondant peut être calculé de la relation suivante:

$$\dot{B}_2 = \dot{B}_1 \frac{V_{RF} \cdot n}{V_{RF \text{ min}}}$$

$\dot{B}_1$  .....  $\dot{B}$  correspondant à l'énergie où  
la mesure était effectuée  
 $V_{RF} =$  153 kV  
 $V_{RF \text{ min}}$  ... tension minimum, trouvée expé-  
rimentalement  
 $n$  ..... nombre des unités d'accélération

## 2. Observation du comportement du faisceau seul

A une énergie déterminée nous avons progressivement réduit la tension RF au moyen du déphasage entre les deux groupes de cavités, par l'appareillage d'asservissement du faisceau. La valeur crête de la tension d'accélération par tour, pour laquelle les pertes commencent à se produire, a été portée sur des diagrammes.

Pour l'observation des pertes, nous avons utilisé le signal analogique du transformateur Hereward et l'indication digitale IP.

Il y a deux sortes de pertes qui apparaissent:

- a) La perte brusque (PB) qui apparaît à l'énergie même où la réduction de  $V_{RF}$  était appliquée. La courbe de PB représente la limite inférieure de  $V_{RF}$ , définie par l'insuffisance des dimensions du poisson d'accélération.
- b) Les pertes progressives (PP) sont définies par  $V_{RF}$  minimum qui permet une accélération à pleine intensité jusqu'à la fin du cycle. C'est la courbe de PP qui seule compte pour l'opération.

La fig. 2 réunit les courbes typiques de PB et PP pour les conditions optimisées. Alors qu'il y a deux courbes différentes avant la transition, après la transition les courbes de PB et PP coïncident. La plupart des pertes qui contribuent aux

PP se produisent au passage de la transition et un peu avant (remarquez la pente ascendante de la courbe de PP avant la transition). Le réglage optimal de la transition devient d'une importance primordiale pour le comportement de la courbe des pertes après la transition.

Une corrélation entre l'intensité du faisceau et  $V_{RF \text{ min}}$  a été observée quand l'injection était instable. Les impulsions avec une intensité plus faible nécessitaient une RF plus élevée.

Dans les fig. 3 et 4, l'influence d'un dérèglement de la transition sur la tension  $V_{RF}$  est présentée (fig. 3: dérèglement du timing avec  $\Delta\phi_T = \text{constant}$  et optimal; fig. 4: dérèglement du  $\Delta\phi_T$  avec un timing constant et optimal).

L'optimisation de la transition avec un réglage aux basses intensités ( $12 \cdot 10^{10}$  p/c) ainsi qu'avec l'opération "triple switch" n'a pas apporté d'amélioration.

### 3. Observations pendant l'opération normale

Pour confirmer l'utilité des résultats obtenus avec le faisceau seul, une série d'expériences a été effectuée pendant l'opération normale du PS. Le criticisme du personnel chargé de l'opération, ainsi que celui des expérimentateurs nous a obligés de rester au-dessus des limites acceptables pour la machine seule.

Pour les opérations difficiles, nous avons profité des heures d'études de la machine. En outre, nous avons procédé à un essai à long terme. Dès le début d'août 1967 jusqu'à la mi-février 1968, à l'exception de quelques interruptions, l'opération normale a eu lieu avec 123 kV au départ et 115 kV après un mois environ. La réduction de  $V_{RF}$  était effectuée à  $B_{80}$  ( $\sim 1$  GeV). La machine marchait avec une marge de sécurité suffisante et se comportait normalement pour toutes les opérations.

Voici le résumé de quelques mesures:

| Date      | Intensité<br>$\times 10^{10}$ | $V_{RF}$ min<br>(kV) | Opérations                      | Remarques   |
|-----------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|---|
| 20. 2. 67 | 95                            | 110                  | FE 74, $\hat{1}$                | apparition de pertes à 90 kV                              |
| 12. 4. 67 | 80                            | 110                  | SE 62                           | apparition de pertes à 105 kV; position radiale retouchée |
| 13. 4. 67 | 70                            | 107                  | FE 58, FE 74                    | opération stable  |
| 15. 6. 67 | 80                            | 115                  | FSE 58, $\hat{1}$ , $\hat{6}$   | sans retouches  |
| 11. 8. 67 | 80                            | 123                  | FE 58, FE 74, FSE 58, $\hat{1}$ | mise en route pour essai à long terme                     |
| 16. 8. 67 | 80                            | 102                  | FE 58, FE 74, FSE 58, $\hat{1}$ | optimisation à la transition                              |
| 22. 9. 67 |                               | 115                  |                                 | changement de $V_{RF}$ pour essai à long terme            |
| 22. 2. 68 |                               | 150-                 |                                 | fin d'essai à long terme                                  |

#### 4. Comportement de l'appareillage RF avec $\dot{B}$ élevé

Comme pour des raisons de rendement de capture pendant l'étape intermédiaire, l'accélération commencera avec  $\dot{F} = 250$  MHz/sec ( $\dot{B} \sim 14$  kG/sec); la commutation à un  $\dot{B}$  plus élevé sera effectuée le plus tôt après 58 ms. A ce moment,  $\dot{F}$  est déjà inférieur à 33 MHz/sec et il n'y aura pas de problèmes spéciaux en ce qui concerne l'appareillage RF pour l'opération normale.

Pour les expériences il est pourtant possible qu'un cycle avec  $\dot{B}_{max}$  et  $\dot{F}_{max}$  dès le début du cycle soit demandé. Bien que le nouveau programme de fréquence, le maître oscillateur et les unités d'accélération soient capables de suivre  $\dot{F}$  jusqu'à 450 MHz/sec, une telle opération serait à déconseiller dans l'état actuel des cavités. (Le transitoire court augmente d'environ 6 x pour une augmentation de  $\dot{F}$  de 250 à 350 MHz/sec.)

RESUME

Pour réduire le cycle de la machine par un raccourcissement du temps de  $\dot{B}$  positif, une grande variété d'opérations est possible. D'autre part, les programmes expérimentaux simples admettent des opérations avec les  $\dot{B}$  plus élevés que les programmes plus compliqués (gymnastique du faisceau). Plus on cherche à atteindre la limite de  $\dot{B}_{\max}$ , plus les réglages deviennent critiques (transition) et la machine sensible aux instabilités (réseau, intensité). Pour assurer l'opération dans de bonnes conditions, une marge suffisante de  $V_{RF}$  sera nécessaire.

Ci-après, trois programmes possibles pour 15 unités d'accélération avec une marge de sécurité suffisante pour l'opération seront comparés:

- a) Une seule commutation avant la transition à 1 GeV.  $\dot{B}_2$  correspondant à une opération à 115 kV avec le  $\dot{B}$  actuel a été choisi, ce qui permet une augmentation de  $\dot{B}$  d'environ 30 %. Les conditions sont présentées dans fig. 5. (Valeur avec double indice  $\dot{B}_{12}$  est la valeur instantanée, les autres  $\dot{B}$  sont les valeurs moyennes sur l'intervalle du temps correspondant).
- b) Une seule commutation après la transition à 5,5 GeV. Dans la fig. 2 on voit qu'un  $\dot{B}$  correspondant à une  $V_{RF}$  86 kV avec le  $\dot{B}$  actuel pourrait être choisi. Pour éviter les difficultés d'opération, nous avons choisi une marge suffisante en prenant  $V_{RF} = 100$  kV. Cela représente une augmentation de  $\dot{B}_{13}$  d'environ 50 %. Voir fig. 6.
- c) La combinaison entre a) et b) est présentée dans la fig. 7.

La fig. 8 donne une comparaison de l'économie du temps de montée en fonction de l'énergie en % pour les trois modes d'opération.

Pour le calcul de ces courbes, les paramètres ( $\dot{B}$ , t) réels ont été utilisés. (Table des paramètres dynamiques, MPS/Int. SR/68-7 de H.H. Umstätter). Les corrections du champ magnétique a hautes énergies n'ont pas été prises en considération.

Pour une opération simple, avec une seule commutation de  $\dot{B}$ , on aura avantage à choisir:

l'opération a) pour les cycles très courts (économie 17 - 21%)

l'opération b) pour les cycles longs (économie 21 - 28%).

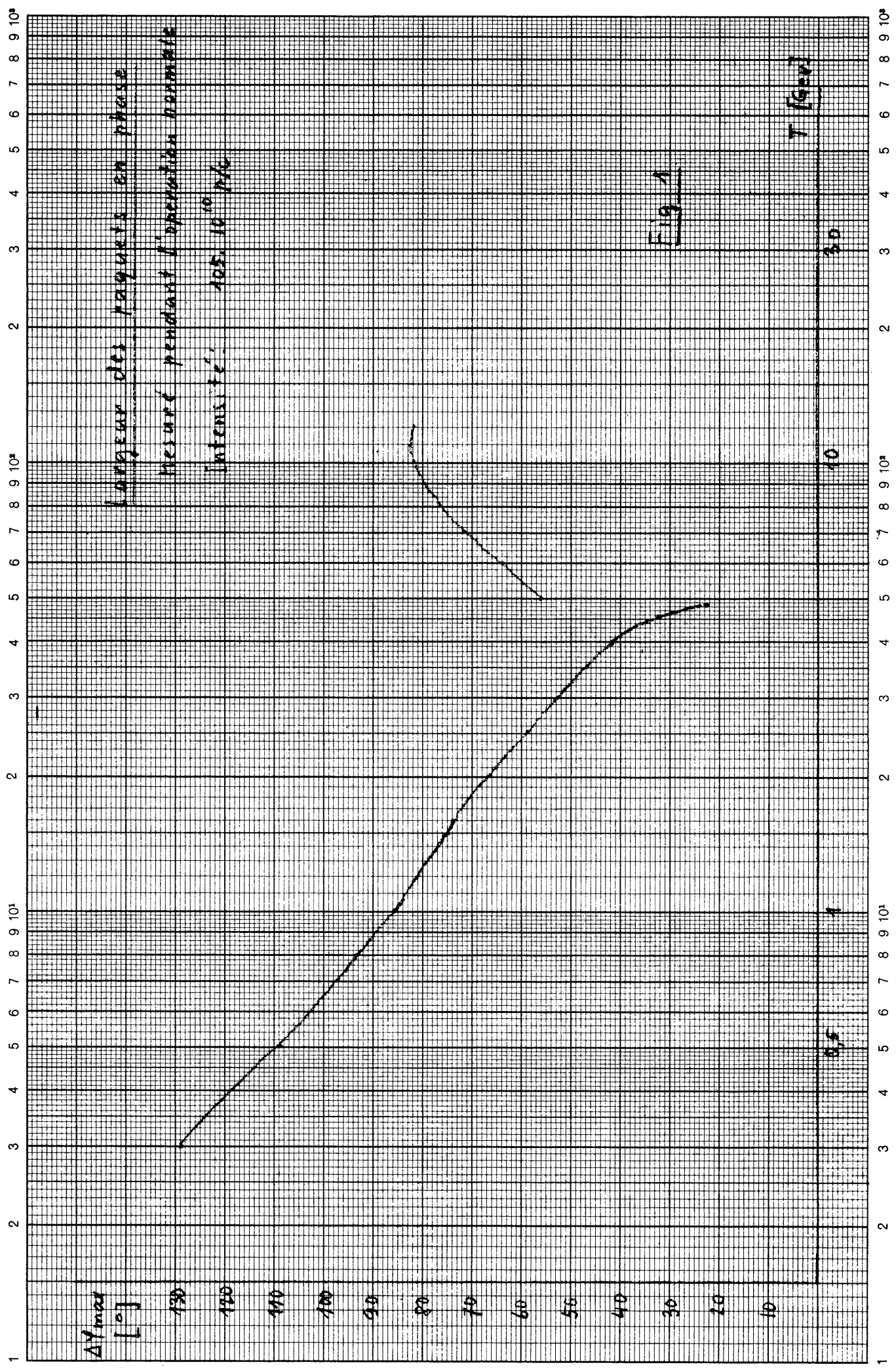
Il est évident que la combinaison c) apporte le maximum d'avantages pour toutes les énergies (économie jusqu'à 32%).

Ce programme a été choisi pour pouvoir être utilisé sans précautions spéciales pour l'opération. On pourrait gagner davantage mais il reste toujours la nécessité d'assumer les facilités de l'opération et la stabilité de la machine.

J. Jamsek

G. Roux

Distribution: ouverte



Teilung } 1 - 1000 Einheit } 90 mm  
 Logar. Division } 1 - 1000 Unité }



$I \approx 80 \pm 90 \cdot 10^{-45} \text{ P/c}$

PB ... pente brusque au moment du  
dephasage (Transfornateur Hereward)

PP ... pente progressive (IP)

Fig. 2



Vacc/dour  
[KV<sub>p</sub>]

110  
100  
90  
80  
70  
60

$$I = 64 \cdot 10^{10} \text{ p/c}$$

$$\varphi_T = \text{CONST} = 625 \text{ (div. pat.)}$$

- A.  $t_{trans} = 269 B_{10} + 70 \mu\text{s}$
- B.  $268 B_{10} + 70 \mu\text{s}$
- C.  $267 B_{10} + 70 \mu\text{s}$

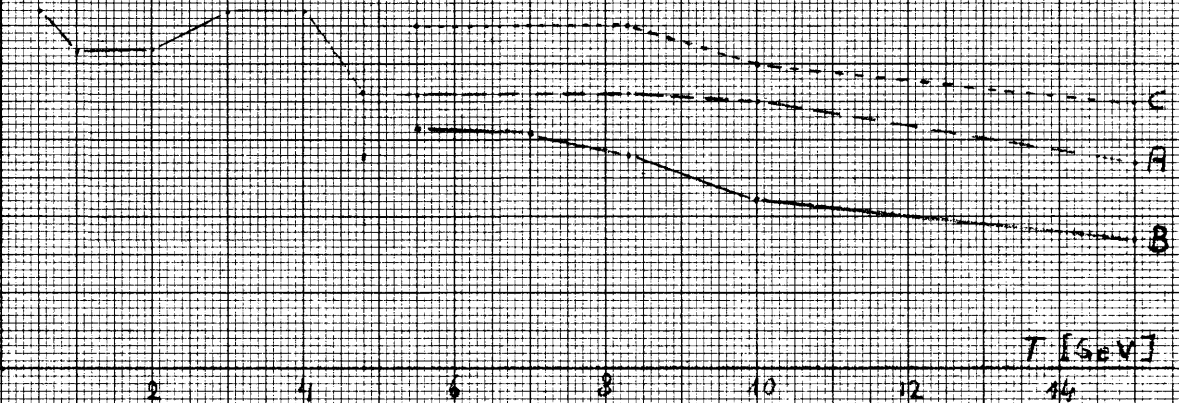


Fig 3

Vacc/dour  
[KV<sub>p</sub>]

110  
100  
90  
80  
70  
60

$$I = 60 \cdot 10^{10} \text{ p/c}$$

$$t_{trans} = \text{CONST} = 268 B_{10} + 70 \mu\text{s}$$

- D.  $\varphi_T = 675 \quad \Delta\varphi \sim -12^\circ$
- B.  $\varphi_T = 625 \quad \text{(regl. optional)}$
- E.  $\varphi_T = 575 \quad \Delta\varphi \sim +12^\circ$

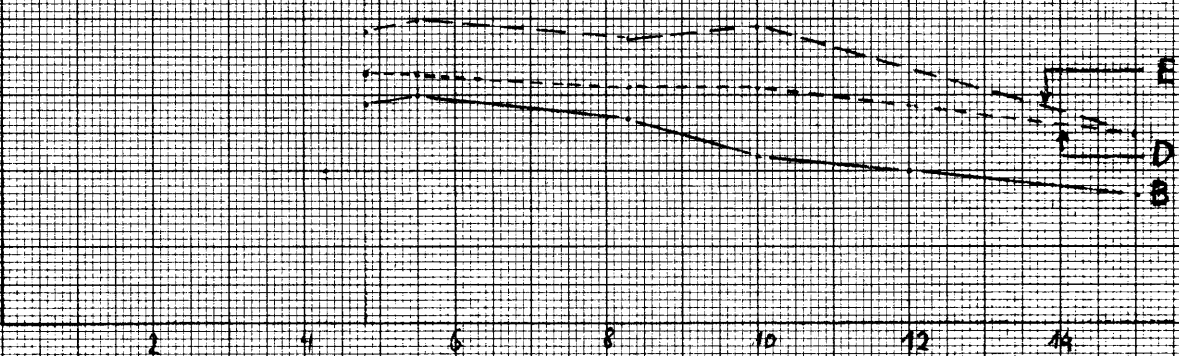
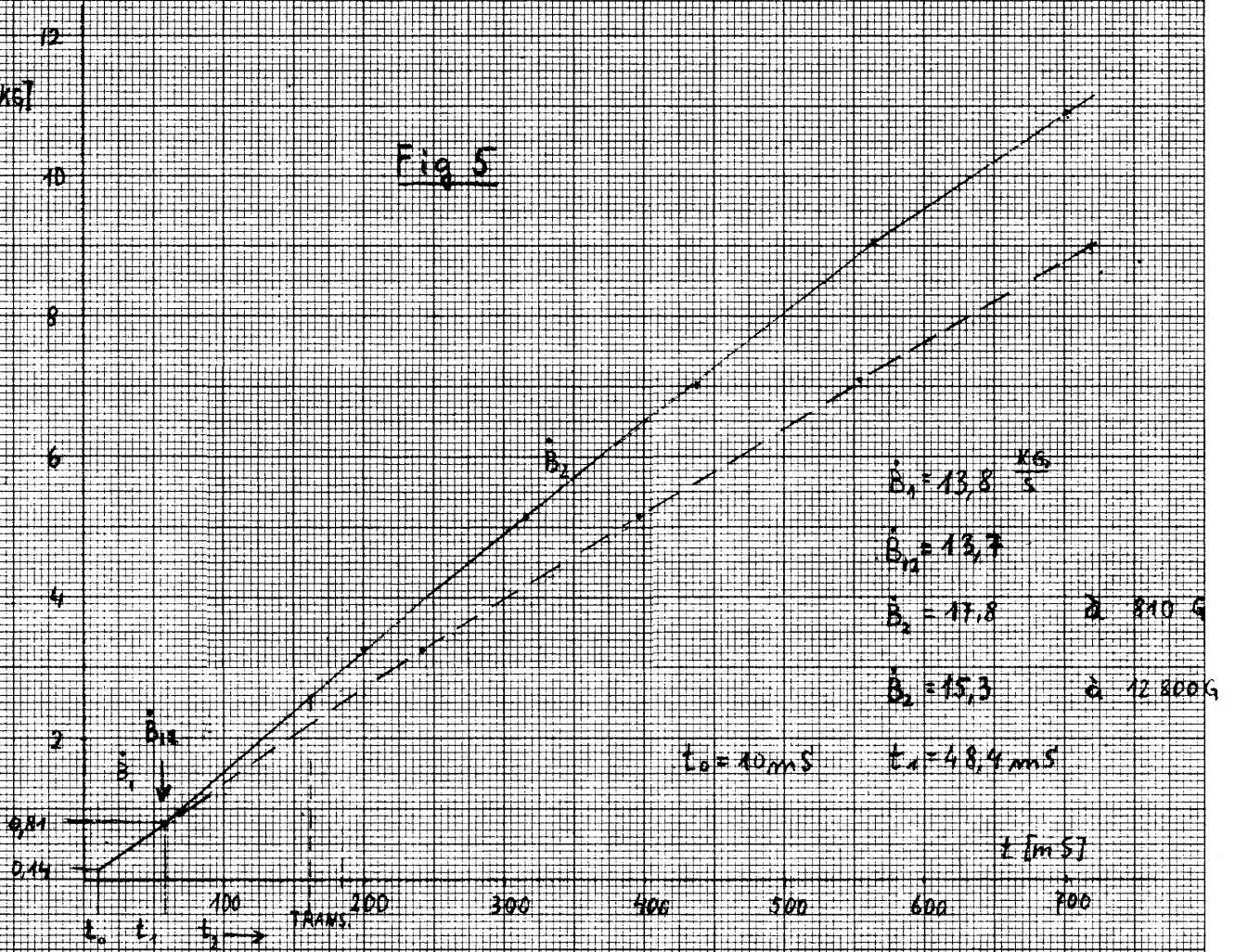


Fig 4

B [kg]

Fig 5



B [kg]

Fig 6

