

R. ROUSSEAU

## **Implantation physique de testeurs dans l'atelier de validation des CIE**

*Les cahiers de l'analyse des données*, tome 12, n° 2 (1987),  
p. 223-235

[http://www.numdam.org/item?id=CAD\\_1987\\_\\_12\\_2\\_223\\_0](http://www.numdam.org/item?id=CAD_1987__12_2_223_0)

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1987, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

## **IMPLANTATION PHYSIQUE DE TESTEURS DANS L'ATELIER DE VALIDATION DES CIE.**

**[MANUTENTION]**

*R. Rousseau (\*)*

A l'usine BULL d'Angers, la fabrication des circuits imprimés équipés (appelés CIE) comprend une phase de fabrication des circuits imprimés nus (appelés CIU), l'achat ou la fabrication de composants, le montage et le soudage de ces composants sur les CIU (on obtient alors un circuit imprimé équipé) et enfin la validation par tests des circuits imprimés équipés.

L'objet de cet article est l'implantation physique, dans l'atelier de validation des CIE, des testeurs permettant cette validation.

### **O Données du problème**

Les CIE sont classés selon 19 types de technologies différentes, chaque type étant lui-même décomposé en sous-types. Le nombre de sous-types est variable selon le type de CIE. En tout, 86 sous-types ont été répertoriés:

type de CIE

sous-type de CIE

SP10

A1, A2, A3, A4, A5, A6, 7, 8, 9, 11

---

(\*) Institut de Mathématiques Appliquées. Angers

|             |  |
|-------------|--|
| SP22        | A12, 13, A6, A14, 11, 5                          |
| SP25        | A15, 16, 17,18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26       |
| SP45        | 27, 28, 29, 30                                   |
| SP55        | 32   |
| HCDPS8      | A33, A34, A35, 36, 37, 3 8                       |
| HCDIPPER    | 39   |
| TECHDPS8    | A40, A39, A37, A33, 10                           |
| ADRPM       | 41   |
| HSDPS7      | A7, A9, 41, 42, 43, 3, 44, 45, 12, 46, 47, 4, 48 |
| HSDPS8      | A7, 48, 42, 10, 49, 45, A44, 49B, A4, A47, 48B   |
| HSRPM       | 49, 48, 44, 45                                   |
| HSARES/MSC4 | 57, 44, 45                                       |
| MEREL6      | 50,51  |
| FILLEL6     | 52, 53   |
| MEREMRX     | 54   |
| FILLEM RX   | 54   |
| Q400        | A55, 56  |
| SP32        | 57, 58   |

Les testeurs sont au nombre de 28 et valident plusieurs sous-types différents de CIE pouvant appartenir à des types différents de CIE. Ils sont codés T1, T2,..., T28.

Chaque sous-type de CIE passe sur un nombre variable de testeurs dans un ordre bien déterminé. On appelle flow-chart d'un sous-type de CIE la suite ordonnée des testeurs sur lesquels passe le sous-type de CIE pour sa validation. Par exemple, le flow-chart du sous-type SP25 - A24 est T1-T8-22.

D'autre part, pour chaque sous-type de CIE on connaît le nombre de lots fabriqués par deux mois (ainsi que la taille du lot; information non utilisée ici). La description des flow-chart et le nombre de lots transportés sont donnés en Annexe 1.

D'autres données temporelles étaient disponibles, à savoir pour chaque testeur et chaque type de CIE: le temps de préparation du testeur par lot, le temps passé au testeur par le type de CIE en cas de validation, le temps passé au testeur par le type de CIE en cas de non validation (temps de reprise) et enfin le

pourcentage de défaillance (non-validation). Ces données ne seront pas utilisées dans cet article mais elles peuvent servir à un ordonnancement de l'atelier de validation par une méthode de résolution d'un problème de job-shop en recherche opérationnelle.

## 1 Analyse des correspondances

### 1.1 A. F. C. du tableau des manutentions $k_{J^*J^*}$

Pour étudier la disposition physique des testeurs dans l'atelier, la matrice des manutentions entre les testeurs a été calculée à partir des 86 sous-types de CIE, de leurs flow-chart respectifs et des quantités de lots transportés par deux mois selon la méthodologie définie dans (IMPLANT).

Notons  $J$  l'ensemble des 28 testeurs, ENTR et SORT les testeurs théoriques d'entrée et de sortie de l'atelier permettant de marquer physiquement ces deux postes de travail.

Notons  $J^* = J \cup \{\text{ENTR}, \text{SORT}\}$

La matrice des manutentions  $k_{J^*J^*}$  est définie par:

$$\begin{aligned} \forall j_1, j_2 \in J^* \quad k(j_1, j_2) &= \text{nombre de lots par deux mois transportés entre} \\ &\quad \text{le testeur } j_1 \text{ et le testeur } j_2, \text{ si } j_1 \neq j_2 \\ &= \text{nombre de lots transitant par le testeur } j, \text{ si} \\ &\quad j_1 = j_2 = j. \end{aligned}$$

Elle se trouve en Annexe 2.

L'AFC du tableau  $k_{J^*J^*}$  n'a montré aucune structure intéressante sur ce tableau. La suite des taux d'inertie des axes décroît très lentement sur les dix premiers axes et le premier plan factoriel (qui donnait la disposition physique des postes de travail dans l'atelier, dans l'article (IMPLANT)) n'explique que 21% de la variance totale et ne fait intervenir que 6 testeurs regroupés comme suit (T10, T23, T24), (T05, T25), (T21), le reste des testeurs étant groupés autour de l'origine.

L'explication des "mauvais résultats" provient du fait qu'en moyenne un sous-type de CIE passe seulement sur un ou deux testeurs autres que l'entrée et la sortie, et qu'en général chaque testeur est relié aux testeurs théoriques d'entrée et de sortie. Ainsi, beaucoup de cases du tableau  $k_{J^*J^*}$  sont nulles et la présence des testeurs ENTR et SORT empêche de voir la structure du tableau  $k_{J^*J^*}$ .

### 1.2 A.F.C. du tableau de manutention $k_{JJ}$ (sans ENTR et SORT)

L'AFC du tableau  $k_{JJ}$  montre une structure intéressante du tableau en sept blocs (six valeurs propres non triviales sont égales à 1). On peut donc en déduire la constitution physique de sept sous-ateliers totalement indépendants les uns des autres.



En réordonnant l'ensemble J d'après cette décomposition en sous-ateliers, on peut aisément calculer la matrice présence-absence de manipulations entre les testeurs selon le nouvel ordre sur J. On voit évidemment apparaître la structure en blocs énoncée précédemment.

### 1.3 Analyse partielle pour le sous-atelier 7.

Notons  $J'$  l'ensemble des 20 testeurs du sous-atelier 7. L'AFC du tableau  $k_{J'J'}$  (sous-tableau de  $k_{JJ}$ ), incluse dans l'AFC du tableau  $k_{JJ}$  mais non visible du fait des six valeurs propres non triviales égales à 1, donne les sept premiers facteurs directs et une décomposition en sous-ateliers du sous-atelier 7. Mais celle-ci n'est plus qu'approchée contrairement à celle de l'atelier 7 en sous-ateliers indépendants:

L'axe 1 est créé par le testeur T11 , (ctr = 643), l'axe 2 par les testeurs T07 (ctr = 433), T18 (ctr = 172) et T17 (ctr = 134) qui sont opposés au testeur T11 (ctr = 184), l'axe 3 par T06 (ctr = 498) et T03 (ctr = 183) qui sont opposés à T07 (ctr = 127) et T11 (ctr = 98), l'axe 4 par T25 (ctr = 386), T05 (ctr = 365) et T21 (ctr = 154) qui s'opposent aux autres testeurs. L'axe 5 oppose T18 et T07 déjà définis à l'axe 2.. L'axe 6 oppose T10 (ctr = 248), T23 (ctr = 207) et T24 (ctr = 177) à T04 (ctr = 180), T15 (ctr = 86) et T13 (ctr = 57) tandis que l'axe 7 oppose T04 (ctr = 229), T13 (ctr = 92) et T15 (ctr = 89) à T22 (ctr = 180) et T08 (ctr = 120).

Les quatre premiers axes, du fait de leurs valeurs propres associées proches de 1 (0.950, 0.899, 0.833, 0.742) donnent une décomposition en blocs approchée, ce qui permet de constituer les sous-ateliers suivants:

- sous-atelier 71    T11
- sous-atelier 72    T07, T17, T18
- sous-atelier 73    T03, T06
- sous-atelier 74    T05, T21, T25

L'axe 5 est une variante du bloc sous-atelier 72 qui oppose T18 à T07. Enfin les axes 6 et 7 permettent en étudiant le plan 6-7 de considérer les trois sous-ateliers suivants:

- sous-atelier 75    T10, T23, T24
- sous-atelier 76    T04, T13, T15
- sous-atelier 77    T08, T22

Enfin il reste à regrouper les trois testeurs restants dans le dernier sous-atelier:

- sous-atelier 78    T01, T20, T26

Le tableau suivant montre les rapports entre manutentions internes et manutentions externes entre sous-ateliers de sous-atelier 7.

|                 | internes | externes | total | externes/total |
|-----------------|----------|----------|-------|----------------|
| sous-atelier 71 | 154      | 6        | 160   | 0.0375         |
| sous-atelier 72 | 29       | 2        | 31    | 0.0645         |
| sous-atelier 73 | 168      | 21       | 189   | 0.1111         |
| sous-atelier 74 | 73       | 17       | 90    | 0.1888         |
| sous-atelier 75 | 86       | 30       | 116   | 0.2586         |
| sous-atelier 76 | 175      | 71       | 246   | 0.2886         |
| sous-atelier 77 | 87       | 33       | 120   | 0.2750         |
| sous-atelier 78 | 1021     | 128      | 1149  | 0.1114         |

L'AFC donne une décomposition en blocs approchée et relie les testeurs d'après leur profil de manutention sur les autres testeurs. Le sous-atelier 8 est particulier du fait de l'importance des trois testeurs le constituant (1021 manutentions internes dont les deux plus importantes entres testeurs différents).

Le tableau  $k_{AA}$ , où A est l'ensemble des sous-ateliers du sous-atelier 7, de manutentions entre ces sous-ateliers est:

|    | 78 | 77 | 76 | 75 | 74 | 73 | 72 | 71 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 78 | 0  | 29 | 54 | 28 | 17 | 0  | 0  | 0  |
| 77 | 29 | 0  | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 76 | 54 | 2  | 0  | 0  | 0  | 14 | 0  | 1  |
| 75 | 28 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 74 | 17 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 73 | 0  | 0  | 14 | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  |
| 72 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  |
| 71 | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  |

La disposition suivante en arbre des sous-ateliers du sous-atelier 7 peut donc être:

72 - 73 - 71

!

76

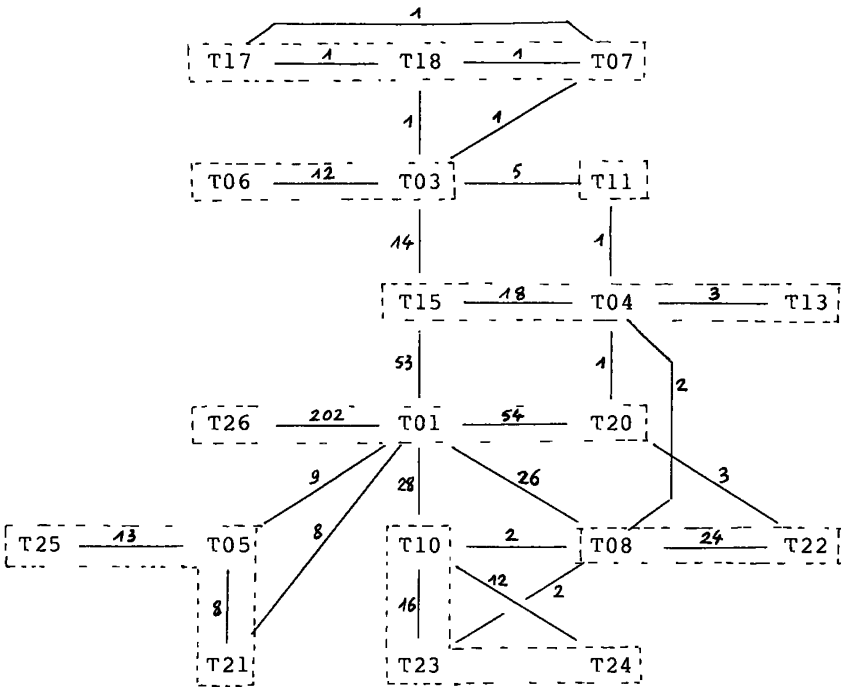
!

74 - 78 - 77

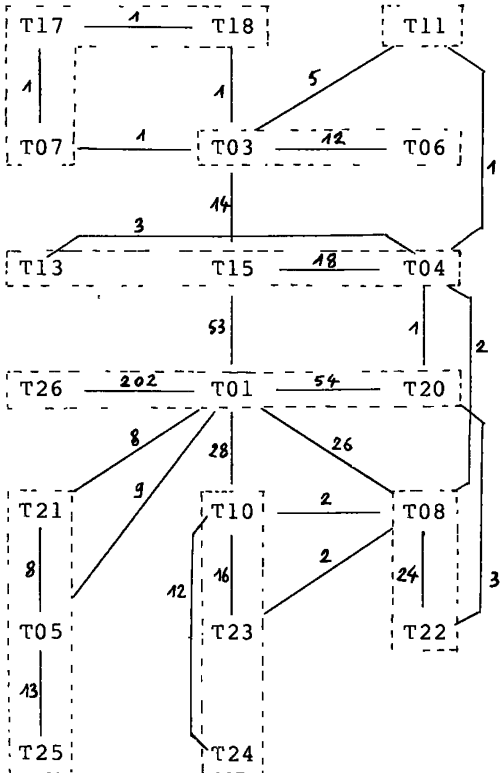
!

75

Aussi en s'aidant du tableau des manutentions  $k_{jY}$  on peut obtenir la disposition suivante des testeurs dans le sous-atelier 7 (sans doute proche de l'idéale) pour une implantation quadrillée.



En tenant compte de la contrainte "trois postes maximum en largeur de l'atelier", on obtient l'implantation physique des testeurs dans le sous-atelier 7:





Les autres testeurs peuvent se placer facilement en tenant compte des groupements indépendants (sous-ateliers 71 à 76).

On peut, d'autre part, retrouver l'existence de ces sous-ateliers en réordonnant la matrice des manutentions  $k_{j^*j^*}$  (cf. Annexe 3).

#### 1.4 AFC du tableau $k_{IJ}$ : correspondance entre testeurs et sous-types de circuit

L'analyse du tableau des manipulations entre testeurs occulte les liens entre les testeurs et les sous-types de CIE. Ceux-ci peuvent être retrouvés en faisant l'AFC du tableau  $k_{IJ}$  défini par:

I ensemble des 86 sous-types de CIE

J ensemble des 28 testeurs

$\forall i \in I, \forall j \in J \quad k_{(i,j)} =$  nombre de lots par deux mois du sous-type  $i$  de CIE passant sur le testeur  $j$ .

On retrouve évidemment la décomposition en sept blocs et donc les facteurs non triviaux relatifs à  $\lambda = 1$ . Mais maintenant on connaît les sous-types de CIE associés à chacun des blocs:

sous-atelier 1 SP10-A3, SP22-A12, SP22-13, SP22-A14, HSDPS7-3, HSDPS-12

sous-atelier 2 SP22-11, SP32-57, SP32-58

sous-atelier 3 MEREL6-50

sous-atelier 4 HSDPS7-44 , HSDPS8-A44 , HSRPM-44, HSARES/ MSC4-A47

sous-atelier 5 HCDPS8-A35

sous-atelier 6 HSDPS7-47, HSDPS8-A47

sous-atelier 7 les autres sous-types de CIE

Ceci permet une orientation systématique des lots de sous-types de CIE dans les sous-ateliers correspondants.

#### 2 C. A. H.

Le tableau de manutention  $k_{JJ}$  a été traité par CAH selon le critère d'agrégation de maximisation du moment centré d'ordre deux d'une partition (critère de WARD) et la distance du Khi2.

Les six premiers noeuds de la hiérarchie ont une inertie égale à 68/1000 et surtout un niveau d'agrégation égal à 1. Ceci montre que le tableau se décompose en sept blocs au moins (cf. article à paraître) et on retrouve les six ateliers indépendants définis par l'AFC:

sous-atelier 6 T27  
 sous-atelier 5 T16  
 sous-atelier 4 T28  
 sous-atelier 2 T09, T19  
 sous-atelier 3 T02  
 sous-atelier 1 T12, T14

Les autres noeuds déterminent les classes suivantes:

sous-atelier 71 T11  
 sous-atelier 72 T07, T17, T18  
 sous-ateliers 73-76 T03, T04, T06, T13, T15  
 sous-atelier 74 T05, T21, T25  
 sous-atelier 77 T08, T22  
 sous-atelier 78 T01, T20, T26  
 sous-atelier 75 T10, T23, T24

La CAH découpe les sous-ateliers 73 et 76 différemment de l'AFC en constituant le sous-atelier 76 (T04, T13, T15) auquel est rajouté d'abord T03 puis T06. Pour la CAH, le sous-atelier 73 (T03, T06) n'est pas constitué en tant que tel.

Les résultats obtenus sont donc très proches de ceux obtenus par l'AFC. Il est à noter que l'implantation donnée par l'AFC permet le regroupement des sous-ateliers 73 et 76 comme le suggère la CAH.

### 3 Conclusion

La méthode d'Analyse Factorielle des Correspondances permet de résoudre l'implantation physique de machines dans un atelier en tenant compte des gammes de fabrication des différentes pièces, que ce soit avec des liaisons fortes entre machines (IMPLANT) ou que ce soit avec des liaisons plus faibles entre machines (cf. cet article).

D'autre part, l'AFC a également permis de résoudre un cas analogue d'implantation des services d'une entreprise dans un bâtiment selon les relations entre les différents services (cf. IMPLANT II).

### Bibliographie

- 1 - ENS1 Pratique de l'Analyse des Données: l'A.F.C.; J.-P. Benzécri - DUNOD 1980.
- 2 - ENS2 Pratique de l'Analyse des Données: Cas Modèles; Ch. Bastin, J.-P. Benzécri, Ch. Bourgarit, P. Cazes - DUNOD 1980.
- 3 - IMPLANT Cahiers d'Analyse des Données; M. Morfin, Vol I (1976) n° 3, pp. 287-296.
- 4 - IMPLANT II Cahiers d'Analyse des Données; G. Vasserot, Vol II (1977) n° 3, pp. 303-311.

## ANNEXE 1

| TYPE<br>DE CIE | SOUS-TYPE<br>DE CIE | FLOW-CHART            | NB LOTS<br>/ 2 MOIS | TAILLE<br>LOT |
|----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------|
| SP10           | A1                  | T11                   | 85                  | 4             |
|                | A2                  | T03 - T11             | 5                   | 4             |
|                | A3                  | T14                   | 1                   | 4             |
|                | A4                  | T15                   | 1                   | 4             |
|                | A5                  | T11                   | 2                   | 4             |
|                | A6                  | T20                   | 2                   | 4             |
|                | 7                   | T04                   | 1                   | 4             |
|                | 8                   | T04 - T20             | 1                   | 4             |
|                | 9                   | T04 - T15             | 1                   | 4             |
|                | 11                  | T13                   | 1                   | 4             |
|                | SP22                | A12                   | T12                 | 12            |
| 13             |                     | T12 - T14             | 4                   | 4             |
| A6             |                     | T20                   | 16                  | 4             |
| A14            |                     | T14                   | 2                   | 4             |
| 11             |                     | T19                   | 4                   | 4             |
| 5              |                     | T11                   | 2                   | 4             |
| SP25           | A15                 | T08                   | 8                   | 4             |
|                | 16                  | T01 - T10 - T23       | 16                  | 4             |
|                | 17                  | T21                   | 4                   | 4             |
|                | 18                  | T01 - T08 - T22       | 24                  | 4             |
|                | 19                  | T01 - T08 - T23       | 2                   | 4             |
|                | 20                  | T01 - T05             | 3                   | 4             |
|                | 21                  | T01 - T15             | 2                   | 4             |
|                | 22                  | T01 - T10 - T24       | 12                  | 4             |
|                | 23                  | T01 - T20 - T22       | 3                   | 4             |
|                | 25                  | T04 - T15             | 3                   | 4             |
|                | 26                  | T04 - T08             | 2                   | 4             |
| SP45           | 27                  | T01 - T21 - T05 - T25 | 8                   | 4             |
|                | 28                  | T01 - T05 - T25       | 2                   | 4             |
|                | 29                  | T01 - T05 - T25       | 3                   | 4             |
|                | 30                  | T01 - T05             | 1                   | 4             |
| SP55           | 32                  | T21                   | 10                  | 4             |
| HCDPS8         | A33                 | T07                   | 7                   | 4             |
|                | A34                 | T18                   | 3                   | 4             |
|                | A35                 | T16                   | 2                   | 4             |
|                | 36                  | T07 - T17             | 1                   | 4             |
|                | 37                  | T18 - T17             | 1                   | 4             |
|                | 38                  | T17                   | 1                   | 4             |
|                | HCDIPPER            | 39                    | T03 - T06           | 12            |
| TECHDPS8       | A40                 | T03 - T18             | 1                   | 4             |
|                | A39                 | T03 - T07             | 1                   | 4             |
|                | A37                 | T18                   | 4                   | 4             |
|                | A33                 | T07                   | 6                   | 4             |
|                | 10                  | T04                   | 2                   | 4             |

## ANNEXE 1 (suite)

|             |     |           |     |   |
|-------------|-----|-----------|-----|---|
| ADRPM       | 41  | T06       | 50  | 4 |
| HSDPS7      | A7  | T04       | 13  | 4 |
|             | A9  | T04 - T15 | 5   | 4 |
|             | 41  | T04 - T11 | 1   | 4 |
|             | 42  | T04 - T15 | 5   | 4 |
|             | 43  | T01 - T15 | 3   | 4 |
|             | 3   | T14       | 8   | 4 |
|             | 44  | T28       | 5   | 4 |
|             | 45  | T15       | 2   | 4 |
|             | 12  | T12       | 1   | 4 |
|             | 47  | T27       | 3   | 4 |
|             | 4   | T15       | 5   | 4 |
|             | 48  | T15       | 2   | 4 |
| HSDPS8      | 48  | T03 - T15 | 2   | 4 |
|             | A7  | T04       | 1   | 4 |
|             | 42  | T04 - T15 | 3   | 4 |
|             | 10  | T04 - T13 | 3   | 4 |
|             | 49  | T04 - T15 | 1   | 4 |
|             | 45  | T15       | 1   | 4 |
|             | A44 | T28       | 1   | 4 |
|             | 49B | T03       | 1   | 4 |
|             | A4  | T15       | 1   | 4 |
|             | A47 | T27       | 3   | 4 |
|             | 48B | T15       | 2   | 4 |
| HSRPM       | 49  | T03       | 12  | 4 |
|             | 48  | T03 - T15 | 12  | 4 |
|             | 44  | T28       | 3   | 4 |
|             | 45  | T15       | 3   | 4 |
| HSARES/ T22 | 57  | T01 - T15 | 48  | 4 |
|             | 44  | T28       | 6   | 4 |
|             | 45  | T15       | 6   | 4 |
| MEREL6      | 50  | T02       | 48  | 8 |
|             | 51  | T03       | 48  | 8 |
| FILLEL6     | 52  | T11       | 59  | 8 |
|             | 53  | T20       | 26  | 8 |
| MEREMRX     | 54  | T01       | 24  | 8 |
| FILLEMRX    | 54  | T01       | 60  | 8 |
| T26         | A55 | T01 - T26 | 202 | 8 |
|             | 56  | T01 - T20 | 51  | 8 |
| SP32        | 57  | T09       | 106 | 3 |
|             | 58  | T09 - T19 | 27  | 3 |



