

A. KLEIN

## **Comparaison de séries temporelles : vingt-quatre observations hémodynamiques chez le rat opéré sous anesthésie**

*Les cahiers de l'analyse des données*, tome 20, n° 1 (1995), p. 27-44

[http://www.numdam.org/item?id=CAD\\_1995\\_\\_20\\_1\\_27\\_0](http://www.numdam.org/item?id=CAD_1995__20_1_27_0)

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1995, 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/>

# COMPARAISON DE SÉRIES TEMPORELLES: VINGT-QUATRE OBSERVATIONS HÉMODYNAMIQUES CHEZ LE RAT OPÉRÉ SOUS ANESTHÉSIE

## [HÉMODYNAMIQUE RAT]

A. KLEIN\*

### 0 Exposé du problème

La statistique classique abonde en méthodes de comparaison entre paramètres (moyennes, variances, proportions) caractérisant différentes populations. Par contre, elle ne propose guère d'outils permettant de comparer entre eux différents groupes de séries temporelles. Dans ce cas s'impose le recours aux méthodes d'analyse multidimensionnelle. L'objet de la présente étude est d'exposer, à partir d'un exemple médical concret, comment, pour effectuer cette comparaison, utiliser concurremment, les méthodes descriptives de base, l'analyse des correspondances et la classification ascendante hiérarchique.

### 1 Origine et structure des données

Le département d'anesthésie de l'hôpital Asaf Harofé (Israël), sous la vigoureuse impulsion de son directeur le Dr. BEHAR, poursuit de nombreuses recherches dans diverses directions. On connaît le risque qu'encourt le patient anesthésié: l'objet de l'étude dont il est ici question est de comparer quatre méthodes d'anesthésie en considérant leur effet, chez le rat, sur les paramètres suivants: pression sanguine, systolique et diastolique, i.e. haute et basse; et fréquence cardiaque.

De façon précise, on sait qu'afin d'opérer sur des patients insensibilisés, on a recours, classiquement, soit à l'anesthésie générale, soit à l'anesthésie locale. D'autre part, depuis quelques années, s'est introduite une procédure d'anesthésie qui tout en préservant la conscience du sujet, agit, dans la hiérarchie des centres nerveux, plus haut que ne le fait l'anesthésie locale:

---

(\*) Université BAR-ILAN; Département de Mathématiques et d'Informatique;  
אונברסיטת בר-אילן המחלקה למתמטיקה ולמדעי המחשב  
RAMAT GAN, 52900; Israël. רמת גן 52900 ישראל

cette méthode, à la fois efficace et commode, a toutefois provoqué, dans certains cas, des baisses de la pression artérielle pouvant aller jusqu'au collapsus. D'où l'intérêt d'apprécier, chez l'animal les effets de plusieurs méthodes d'anesthésie de cette sorte.

Dans la présente étude, sont comparés quatre agents chimiques énumérés ci-dessous, avec les caractères qui nous serviront à les désigner:

**L:** Lidocaïne ; **F:** Fentanyl ; **M:** Midazolam ; **&:** association de F et M.

Chacune des quatre méthodes a été appliquée à une série de six rats; soit, en tout, un ensemble, I, de vingt-quatre rats; désignés, dans la suite par un sigle formé de deux caractères: celui du traitement et le numéro - de 1 à 6 - dans la série:

$$I = \{L1, \dots, L6 ; F1, \dots, F6 ; M1, \dots, M6 ; \&1, \dots, \&6\} .$$

Les rats sont opérés dès qu'ils deviennent insensibles à la douleur, c'est-à-dire cinq à dix minutes après le début de la procédure expérimentale. Sont relevées, de minute en minute, pendant une heure (soit 61 fois exactement!), les valeurs des trois paramètres:

**P** : pression artérielle systolique ;  **$\pi$**  : pression diastolique ;  
**f** : fréquence cardiaque.

On note  $T = \{01, 02, \dots, 61\}$ , la suite des temps d'observation; et  $J = \{P, \pi, f\}$ , l'ensemble des paramètres considérés.

Le tableau des données apparaît comme un tableau de correspondance ternaire:

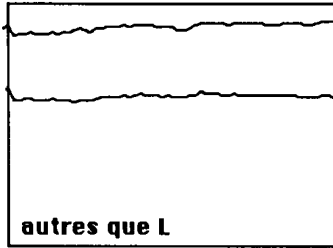
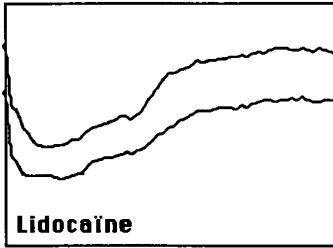
$$I \times J \times T : 24 \times 3 \times 61 :$$

(on devrait dire quaternaire, en tenant compte de la répartition de I entre quatre traitements:  $24 = 4 \times 6$ ). Ce tableau peut, comme d'usage, être analysé en le présentant, de diverses manières, sous forme rectangulaire; ou en effectuant des cumulés.

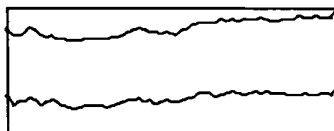
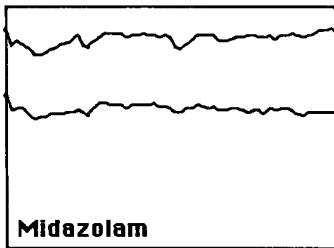
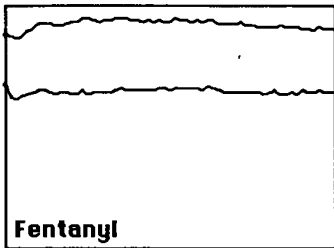
Dans la suite, on étudie, au §2, la pression artérielle, sans séparer systolique de diastolique; puis, au §3, la fréquence cardiaque.

## 2 Analyse des variations de la pression artérielle

On a considéré d'abord les cinq courbes moyennes afférentes aux quatre groupes de traitement {L, F, M, &} et au cumul {F, M, &}; en superposant, dans un même cadre, les courbes P et  $\pi$ , afférentes respectivement à la pression systolique et diastolique, tracées avec la même échelle verticale; la base du cadre étant à 0 et le bord supérieur à 131.



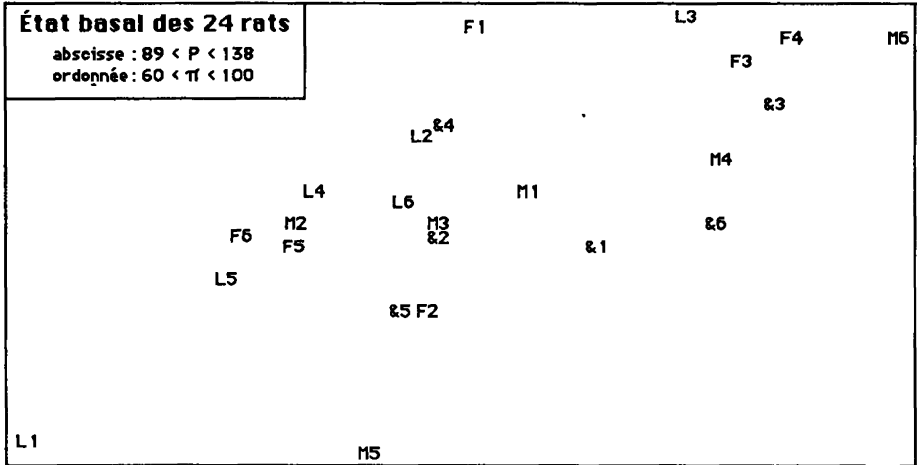
Courbes des variations de la pression artérielle systolique et diastolique de minute en minute: quatre groupes de 6 rats soumis au même traitement; et moyenne générale des rats n'ayant pas reçu de Lidocaïne



A première vue, la Lidocaïne se signale par une baisse profonde des deux courbes en phase initiale; l'opposition pouvant être résumée si l'on construit la moyenne,  $\neq L$ , des cas non traités par la Lidocaïne. Ces courbes suggèrent deux remarques liées entre elles:

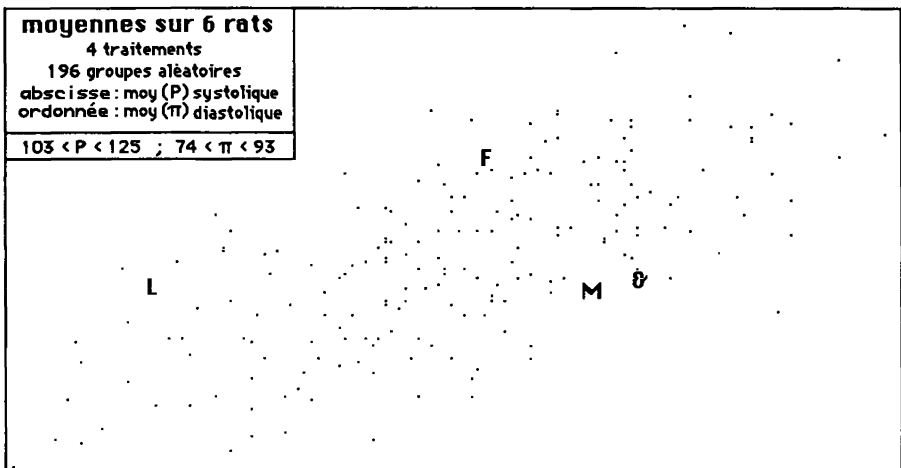
A) Entre profil systolique et diastolique, il y a, dans chaque cadre afférent à un traitement, une similitude qui évoque l'existence d'un rapport constant. Plus précisément, il apparaîtra, à la CAH, que s'agrègent généralement l'un à l'autre les deux profils,  $xP$  et  $x\pi$ , afférents à un même individu,  $x$ .

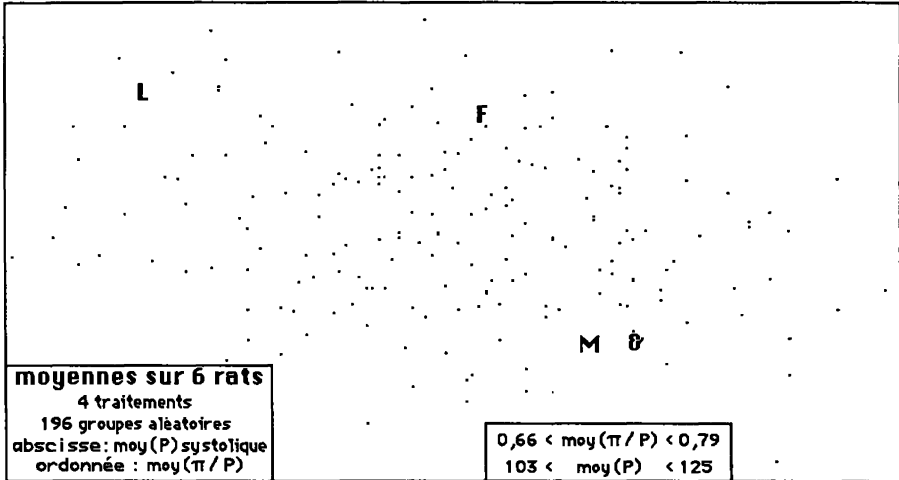
B) Ce rapport entre systolique et diastolique, assez bien conservé malgré les vicissitudes de l'expérience, n'est pas le même pour tous les individus; et, sur les courbes moyennes afférentes aux traitements, L se signale par un rapport



Afin d'apprécier dans quelle mesure une telle distribution peut être due au hasard, on considère, concurremment avec le groupe L des 6 cas traités par la Lidocaïne et les trois autres groupes {F, M, &}, 196 groupes fictifs de 6 rats extraits de I par tirage aléatoire; et l'on représente des nuages de points moyens afférents aux 200 groupes.

Sur le plan croisant P et  $\pi$  (plus exactement la moyenne de P sur chaque échantillon avec celle de  $\pi$ ), le nuage des 200 échantillons affecte la forme d'un fuseau, orienté suivant la première diagonale du cadre rectangulaire; forme semblable à celle du nuage des 24 rats. Le point L est à la périphérie, sans être l'un des sommets du polygone convexe engendré par le nuage: calculer un seuil de probabilité requiert un modèle de référence, mais on peut





caractériser L par la propriété que le nombre minimum de points qu'une droite sépare avec lui du reste du nuage est de 3; or il apparaît que plus de 20 points partagent cette propriété; ce qui correspond à un seuil de 10%.

Pour prendre en compte explicitement le pincement (ou faiblesse relative de la différence  $P-\pi$ ; donc forte valeur du quotient  $\pi/P$ ), on a fait deux autres croisements. D'une part, croisement de la moyenne de P (calculée sur chaque échantillon) avec la moyenne du quotient ( $\pi/P$ ); d'autre part, de la moyenne de P avec le quotient de la moyenne de  $\pi$  par celle de P. Les graphiques étant très semblables entre eux, nous ne publions que le premier. On retrouve L à la périphérie, mais sans que le seuil descende au dessous de 10%.

Comme la suite des analyses montre que ceux des rats caractérisés par une faible systolique à l'état basal avec un pincement, mais non anesthésiés par L, n'ont pas d'abaissement anormal de la tension en cours d'expérience, on regardera comme prouvé que la dépression sous le traitement L n'est pas due à un biais dans la distribution de l'état basal.

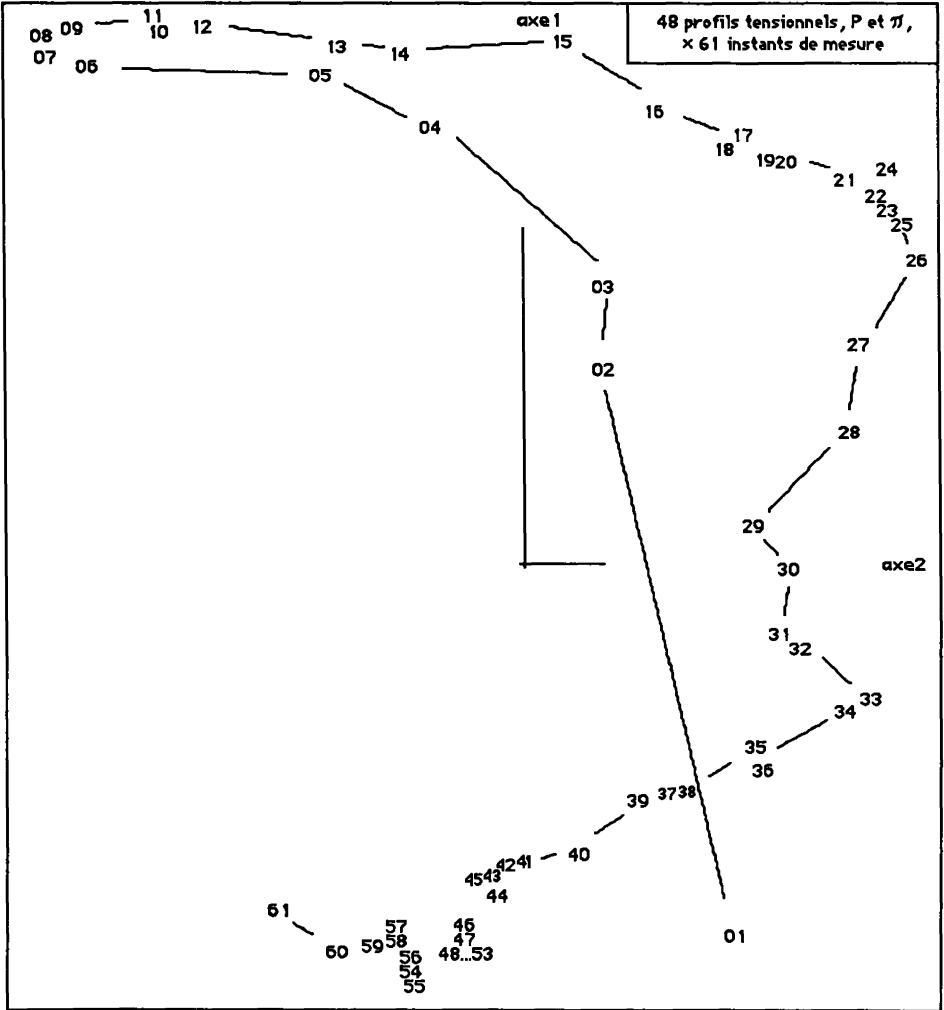
### 2.1 Première analyse pour l'ensemble des 48 profils tensionnels systoliques et diastoliques

rats opérés: en principal: 48 profils tensionnels x 61 instants de mesure  
 trace : 1.382e-2

|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| rang   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10       |
| lambda | 115  | 9    | 4    | 2    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0 e-4    |
| taux   | 8290 | 646  | 256  | 161  | 136  | 85   | 79   | 67   | 42   | 34 e-4   |
| cumul  | 8290 | 8936 | 9192 | 9353 | 9489 | 9574 | 9653 | 9720 | 9761 | 9795 e-4 |

#### 2.1.1 Présentation des facteurs

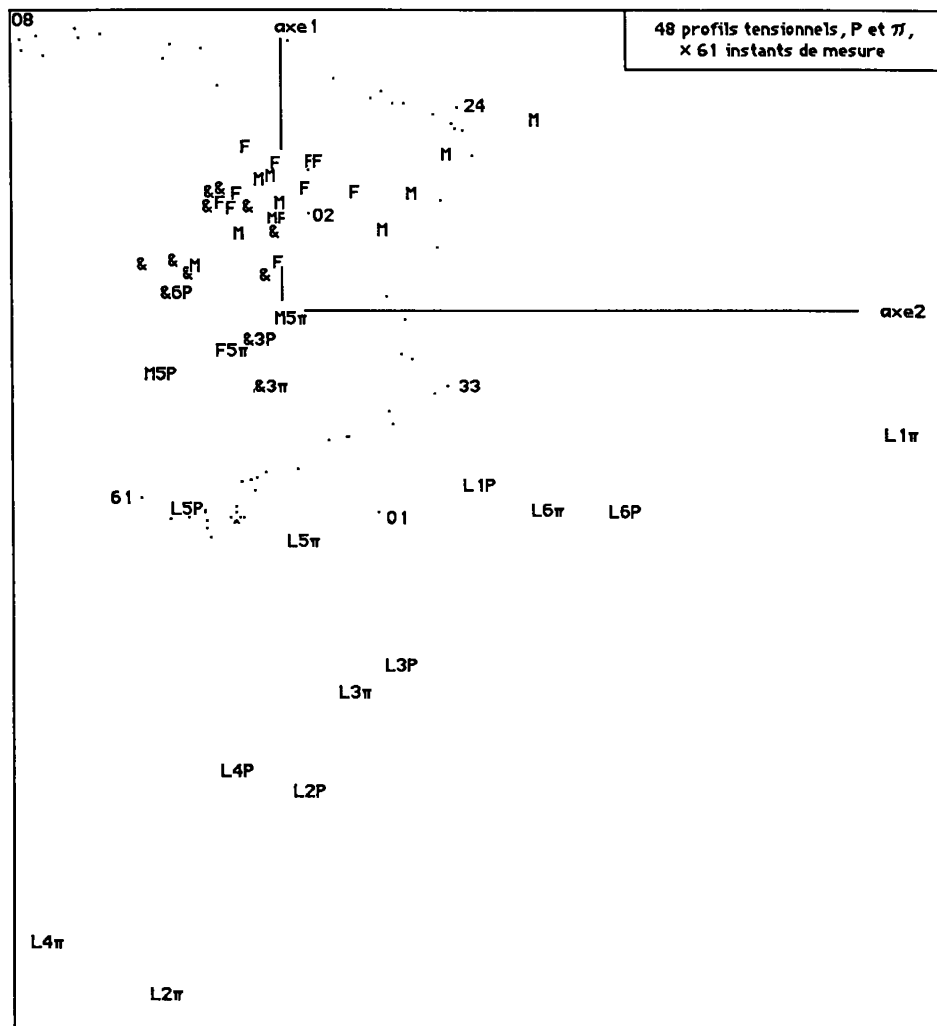
Le tableau des valeurs propres et taux d'inertie montre une situation quasi unidimensionnelle. Sur l'axe 1, les profils tensionnels - systoliques,  $L_xP$ , et



diastoliques,  $Lx\pi$  - des rats anesthésiés par la Lidocaïne sont du côté ( $F1 < 0$ ), associés à l'instant initial, 01, et à la deuxième moitié de l'expérience: 31...61; mais opposés à la période 02...29, durant laquelle, sous l'action de la Lidocaïne, la tension s'abaisse.

Les autres profils tensionnels sont du côté ( $F1 > 0$ ); ou, si l'abscisse  $F1$  en est négative, proches de l'origine.

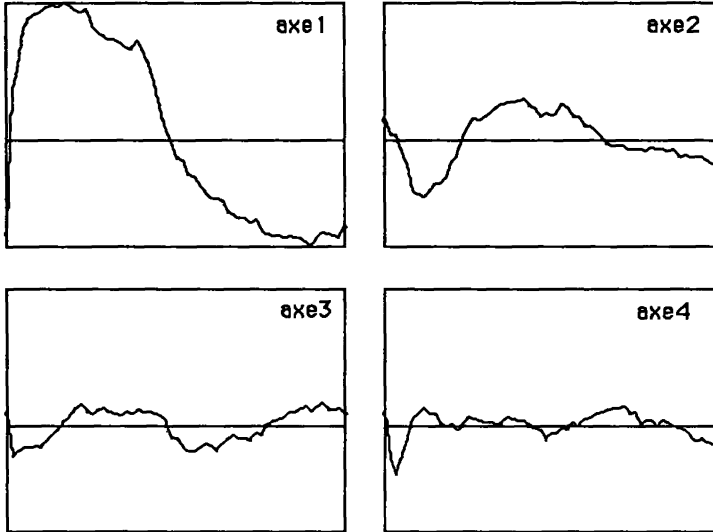
Nous publions deux graphiques du plan (1, 2); sur le premier, figure seul



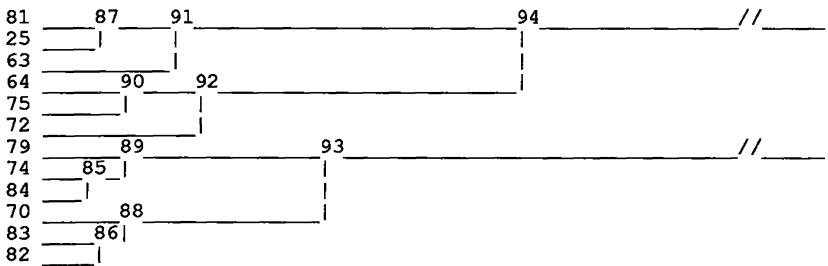
ligne brisée qui en suggère l'enchaînement; sur le second, on a les trois ensembles T, IP et  $I\pi$ ; les temps ne sont notés que par des points; tandis que pour les nuages IP et  $I\pi$  des 48 profils tensionnels l'initiale du sigle (laquelle désigne le traitement) est toujours marquée; mais les numéros et la distinction entre P et  $\pi$  ne sont toujours précisés que pour le groupe L. On pourra vérifier la proximité entre les profils P et  $\pi$  du même rat.

Il importe de signaler que, compte tenu de la prédominance de l'axe 1, l'échelle de l'axe 2 est amplifiée relativement à celle de l'axe 1.





D'autre part, sont tracées les courbes de variation des facteurs 1 à 4 en fonction du temps. Ces courbes ont un dessin régulier, comparable à celui d'harmoniques successifs: on reviendra sur cette analogie au §3.2.1.



| c   Partition des 48 profils tensionnels, P et $\pi$ , en 12 classes |  |
|--|--|
| 81   | L1P L6 $\pi$ L6P   |
| 25   | L1 $\pi$   |
| 63   | L5 $\pi$ L5P   |
| -----  |  |
| 64   | L3P L3 $\pi$   |
| 75   | L4P L2P  |
| 72   | L4 $\pi$ L2 $\pi$  |
| -----  |  |
| 79   | M5 $\pi$ M5P &3 $\pi$ &3P F5 $\pi$   |
| 74   | &4 $\pi$ &6P &6 $\pi$ &4P  |
| 84   | F5P &2P &2 $\pi$ M4P M4 $\pi$  |
| -----  |  |
| 70   | M2P M2 $\pi$   |
| 83   | M1P M1 $\pi$ F2P F2 $\pi$ F4 $\pi$ F4P   |
| 82   | F6P &5 $\pi$ &5P &1 $\pi$ &1P F6 $\pi$ F1P F1 $\pi$ M3 $\pi$ M3P M6P M6 $\pi$ F3P F3 $\pi$ |

### 2.1.2 Classification des 48 profils tensionnels

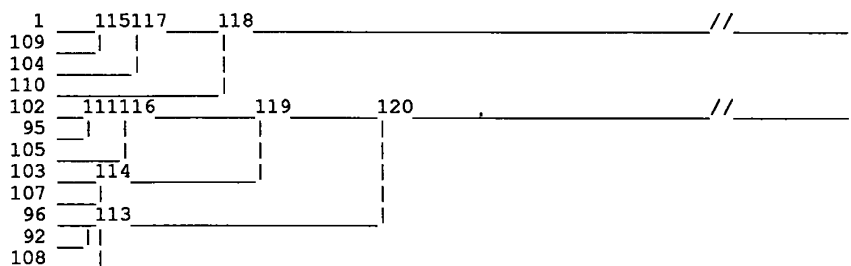
La CAH confirme ce qu'on voit sur le plan (1,2): au sommet de la hiérarchie, les 12 profils sous traitement L se séparent des 36 autres profils; ceux-ci forment une classe 93 au sein de laquelle les trois traitements {F, M, &} sont également répartis entre les subdivisions.

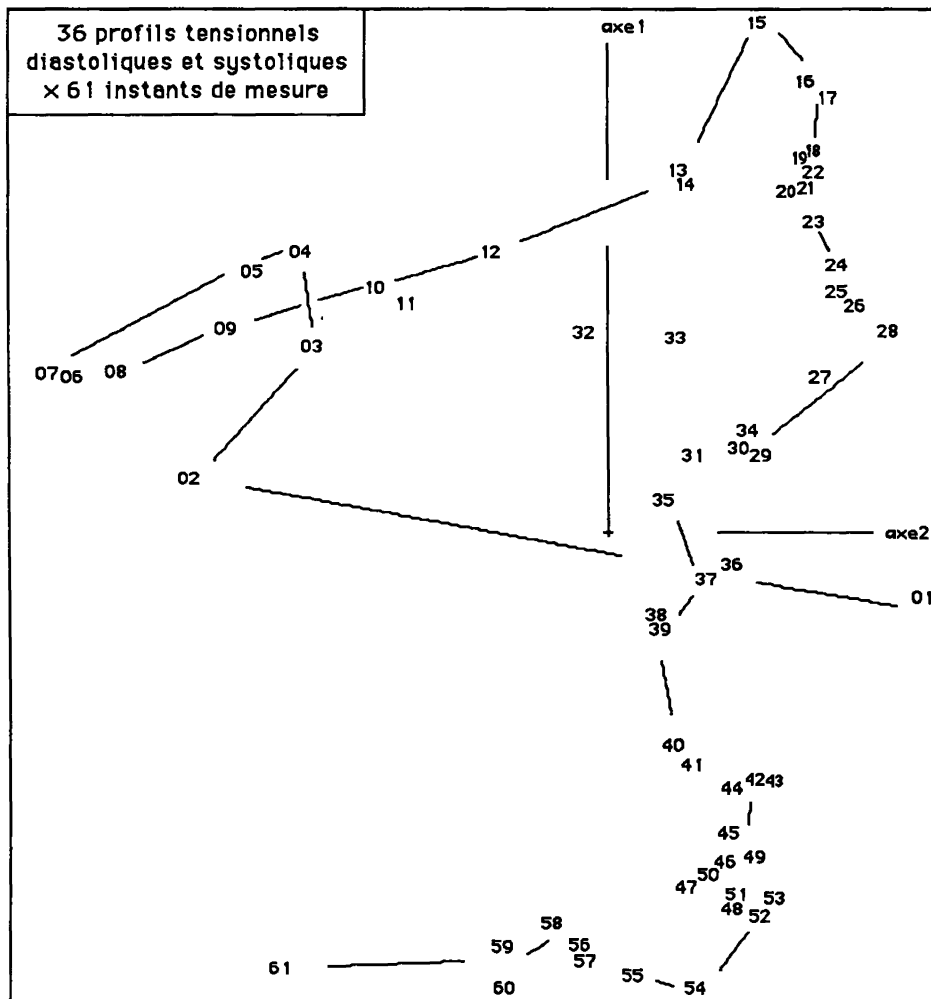
Les deux profils, haut et bas, P et  $\pi$ , afférents à un même rat, s'agrègent directement l'un à l'autre dans la moitié des cas; et ne sont jamais séparés dans des subdivisions éloignées, s'agréant à un niveau élevé de la hiérarchie.

### 2.1.3 Classification de T d'après sa correspondance avec les 48 profils tensionnels

Dans la partition en 12 classes définie par les 11 nœuds les plus hauts, toutes les classes sont des blocs d'instantanés consécutifs; à ceci près que l'instant initial, 01, constitue, par lui-même, une classe. Au sommet de la hiérarchie, T se partage en deux, comme on l'a déjà vu sur l'axe 1: d'une part, la branche 120, qui comprend les instantanés {02...31}; et, d'autre part, la branche 118, où l'on peut distinguer 117, 01 avec {32...46}; et 110, {47...61}, une dernière phase, moins proche de l'état initial que ne l'est {32...46}.

| c     | 61 instantanés classés d'après 48 profils tensionnels {P $\pi$ } |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |         |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------|---------|
| 1     | 01   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 01      |         |
| 109   | 39 38 37 44 46 45 41 40 43 42                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 37...46 |         |
| 104   | 36 35 34 33 32   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 32...36 |         |
| ----- |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |         |
| 110   | 49 47 48 50 52 51 61 60 58 59 56 57 53 54 55                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 47...61 |
| ===== |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |         |
| 102   | 31 30 29   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 29...31 |
| 95    | 28 27  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 27...28 |
| 105   | 02 03  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 02...03 |
| ----- |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |         |
| 103   | 17 16 15   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 15...17 |
| 107   | 26 25 23 24 20 22 21 19 18                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 18...26 |
| ----- |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         |         |
| 96    | 04 05  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 04...05 |
| 92    | 06 07 08   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 06...08 |
| 108   | 14 13 09 10 11 12  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |         | 09...14 |

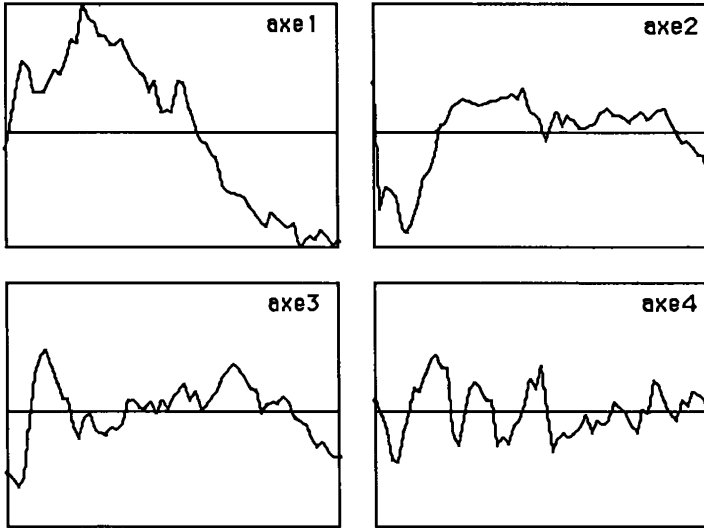




**2.2 Deuxième analyse pour les 36 profils tensionnels systoliques et diastoliques afférents aux rats non traités par la lidocaïne**

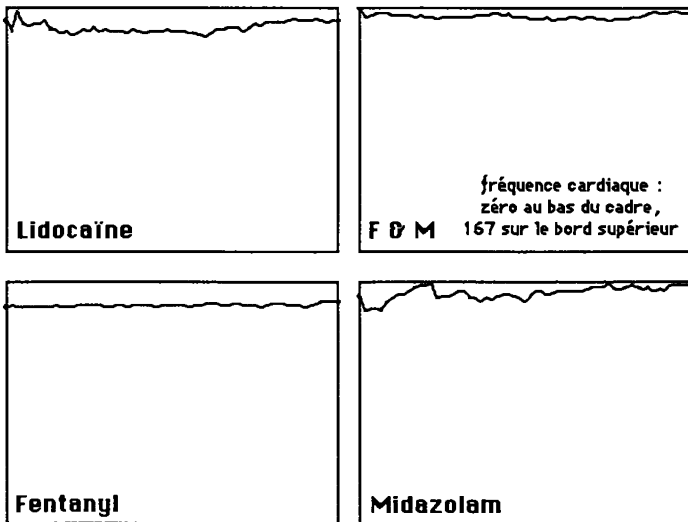
rats opérés: en principal: 36 profils tensionnels × 61 instants de mesure  
 trace : 2.636e-3  
 rang : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 lambda : 14 3 2 1 1 1 1 1 0 0 e-4  
 taux : 5285 1236 811 555 431 275 229 202 156 122 e-4  
 cumul : 5285 6521 7332 7888 8318 8593 8822 9024 9180 9302 e-4

L'analyse des 48 profils tensionnels, objet du §2.1, est dominée par le net contraste entre le groupe traité par la Lidocaïne et les trois autres groupes {F, M, &}. La variation régulière des facteurs sur T pouvant n'être due qu'à cette

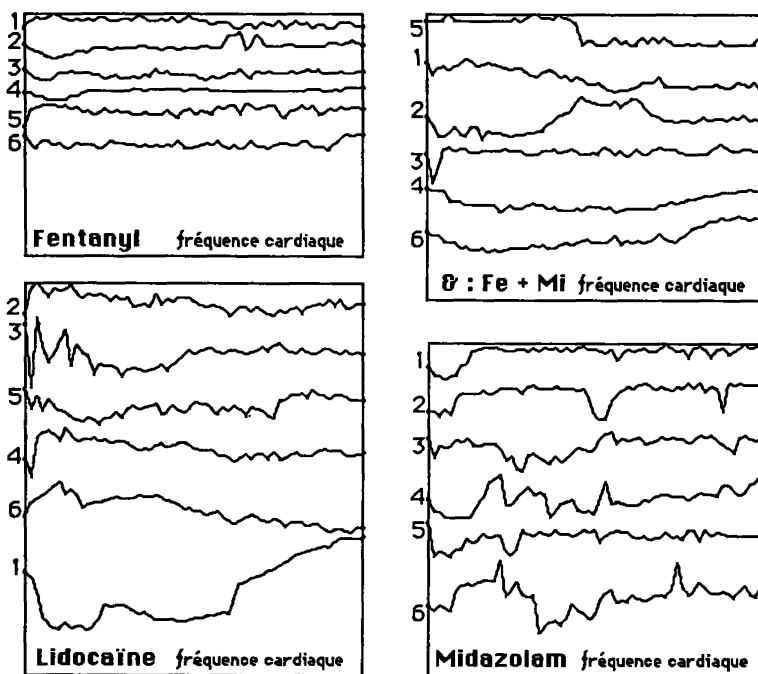


opposition, on a fait une analyse où figurent seul en principal les 36 profils {F, M, &}. L'inertie afférente à l'axe 1 est divisée par 8; et la dénivellation entre les taux afférents aux axes 1 et 2 est moins forte; mais la suite des instants n'en dessine pas moins, dans le plan (1, 2), une ligne interprétable; et, de façon précise, les courbes de variations sur T des facteurs 1 à 4, moins régulières qu'au §2.1.1, n'en évoquent pas moins des harmoniques succesifs.

### 3 Analyse des variations de la fréquence cardiaque



Comme pour la pression artérielle, on a considéré d'abord les courbes de profils moyens afférentes aux quatre groupes de traitement {L, F, M, &}. À première vue, ces courbes ont en commun de ne présenter que des variations relatives de faible amplitude; et aucun traitement ne se signale comme susceptible d'être nocif. Cependant, en poursuivant l'examen, on a découvert qu'avec le Fentanyl les profils de fréquence sont le plus lisses; ce qui est à mettre au crédit de ce traitement. En effet, dans la mesure où la forme accidentée du pouls des rats reflète leur inquiétude devant les manipulations dont ils sont l'objet, il apparaît que le Fentanyl n'agit pas seulement comme anesthésiant, mais aussi comme tranquilisant.



L'effet original du Fentanyl se voit bien sur une planche où sont rassemblées les 24 courbes de fréquence, groupées par traitement. Ces courbes sont toutes tracées à la même échelle; mais afin de restreindre la surface, on a étagé les courbes en ordonnée sans respecter une origine fixe.

Outre les profils plats du Fentanyl, on remarque le profil n°1 de la Lidocaïne; lequel a l'amplitude maxima.

Cependant, cette planche n'a été construite que parce que l'analyse multidimensionnelle a appelé l'attention sur le Fentanyl; la CAH servant ensuite à confirmer les suggestions des listages et des courbes. Nous exposerons donc avec quelque détail la suite des traitements effectués.

**3.1 Première analyse factorielle et CAH pour 24 profils de fréquence**

Le tableau analysé croise l'ensemble *I<sub>f</sub>* des 24 profils de fréquence avec l'ensemble *T* des 61 instants de mesure.

rats opérés: en principal: 24 profils de fréquence × 61 instants de mesure  
 trace : 2.575e-3

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| rang :   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10       |
| lambda : | 15   | 3    | 2    | 2    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0 e-4    |
| taux :   | 5703 | 1153 | 899  | 875  | 299  | 240  | 160  | 118  | 105  | 86 e-4   |
| cumul :  | 5703 | 6856 | 7755 | 8630 | 8929 | 9168 | 9328 | 9446 | 9551 | 9637 e-4 |

La suite des valeurs propres décroît rapidement, avec une dénivellation nette entre rangs 1 et 2; et une autre entre rangs 4 et 5. Quant à l'ordre de grandeur, valeurs et taux sont analogues à ceux du §2.2.

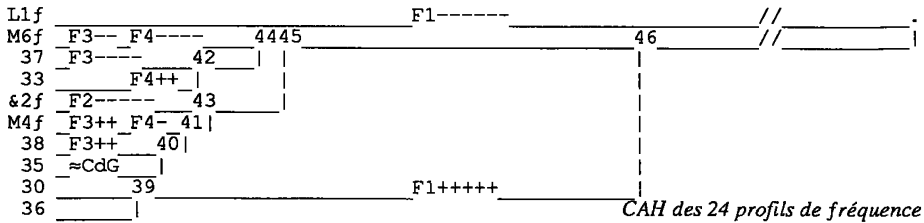
En lisant le listage, on note deux particularités:

A) Dans la colonne INR du premier bloc du tableau des facteurs, des valeurs très faibles sont situées au niveau du second groupe : {*F1<sub>f</sub>*, *F2<sub>f</sub>*, ..., *F6<sub>f</sub>*}, afférent au Fentanyl: ce qui indique que ces six profils ne s'écartent guère du profil moyen.

B) L'axe 1 reçoit du profil *L1<sub>f</sub>* 60% de son inertie:  $CTR1(L1_f) = 60.2$ .

Cette deuxième particularité répond à la grande amplitude du profil de *L1<sub>f</sub>*: elle suggère de reprendre l'analyse en mettant *L1<sub>f</sub>* en supplément; ce qui sera fait au §3.2. Mais il vaut la peine de préciser la remarque A).

Des 24 contributions, INR, des profils à l'inertie totale du nuage, les 7 plus faibles viennent des 6 sujets traités par F, auxquels s'adjoint &3*f*, troisième des sujets traités par l'association de F avec M. Un simple calcul d'analyse combinatoire montre que, relativement au Fentanyl, cette particularité a très peu de chances d'être un effet du hasard.



La CAH des profils montre d'abord que *L1<sub>f</sub>*, très écarté sur ( $F1 < 0$ ), se sépare de tout le reste des profils; et s'oppose, plus particulièrement, à la classe 39, caractérisée par *F1++++*. En reprenant le tableau des courbes, on voit en effet que, tandis *L1<sub>f</sub>* débute par une profonde diminution de la fréquence pour terminer plus haut que la valeur initiale; les 5 courbes de la classe 39 ont en commun de suivre le mouvement inverse, encore qu'avec une moindre amplitude.

| c  | CAH des 24 profils de fréquence sur l'ensemble T des 61 instants de mesure |
|----|--|
| 1  | L1f  |
| 18 | M6f  |
| 37 | M3f L3f  |
| 33 | L5f &6f &4f  |
| 20 | &2f  |
| 16 | M4f  |
| 38 | M1f M5f M2f  |
| 35 | &3f F2f F6f F4f F3f F1f F5f <span style="float:right">≈CdG</span>          |
| 30 | L2f L4f  |
| 36 | &1f &5f L6f  |

On note ensuite que les 7 profils, signalés sur la colonne INR, se retrouvent dans une seule classe, 35, dont la caractéristique est d'être la plus proche du centre de gravité du nuage.

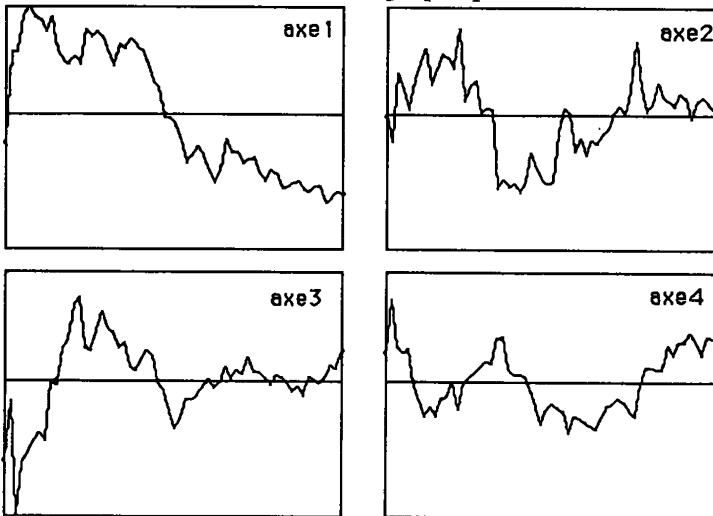
### 3.2 Deuxième analyse et CAH pour 23 profils de fréquence

23 profils de fréquence × 61 instants de mesure ; L1f est en supplément

|          |          |      |      |      |      |      |      |      |      |          |
|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| trace :  | 1.669e-3 |      |      |      |      |      |      |      |      |          |
| rang :   | 1        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10       |
| lambda : | 7        | 3    | 2    | 2    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0 e-4    |
| taux :   | 4057     | 1568 | 1420 | 908  | 423  | 381  | 255  | 187  | 161  | 123 e-4  |
| cumul :  | 4057     | 5626 | 7046 | 7954 | 8377 | 8757 | 9012 | 9199 | 9361 | 9484 e-4 |

#### 3.2.1 Présentation des facteurs

Ayant supprimé L1f, lequel, très écarté de l'origine, créait l'axe 1, on a un tableau des taux où la dénivellation du rang 1 au rang 2 est moins forte; mais subsiste la dénivellation de 4 à 5. Comme pour les analyses de profils tensionnels, nous présentons ici les graphiques de variation des quatre



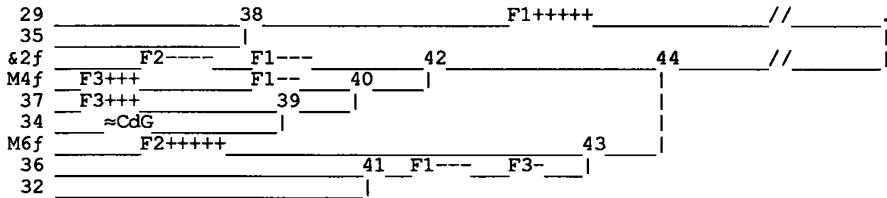
premiers facteurs sur l'ensemble ordonné T des 61 instants. On trouvera plus loin deux images du plan (1, 2): l'une avec les instants seuls, marqués par leur rang de 01 à 61; l'autre avec les sigles des profils, les instants n'étant notés que par des points.

Quant à l'ensemble T, le plan (1, 2) comme les courbes montrent qu'après un mouvement rapide de l'état basal aux premiers instants du processus expérimental, se succèdent des phases de mouvement et des paliers; ceux-ci étant marqués par des fluctuations de faible amplitude. Les courbes sont plus accidentées que celles du §2.1.1, ou que celles, non publiées, afférentes à l'analyse du §3.1; leur texture est semblable à celles des courbes du §2.2.1. Il faut comprendre que les facteurs sur T ne sont rien d'autre qu'un système orthogonal optimum de fonctions de base pour décomposer les différences entre profils individuels et profil moyen: le cas classique le plus parfait étant celui de l'effet GUTTMAN. Lorsque qu'un profil régulier (ou un groupe de tels profils) domine dans l'inertie, il s'impose comme facteur; sinon, malgré la redondance locale, des indentations marquent les facteurs.

Pour *I<sub>f</sub>*, on retrouve, dans le plan (1, 2) la distribution centrale des cas traités par Fentanyl auxquels est joint &3f: les autres cas qui semblent proches de l'origine s'en écartent, en fait, sur d'autres axes; comme on le vérifie sur la colonne INR du listage; et aussi à la CAH.

### 3.2.2 Classification de 23 profils de fréquence cardiaque

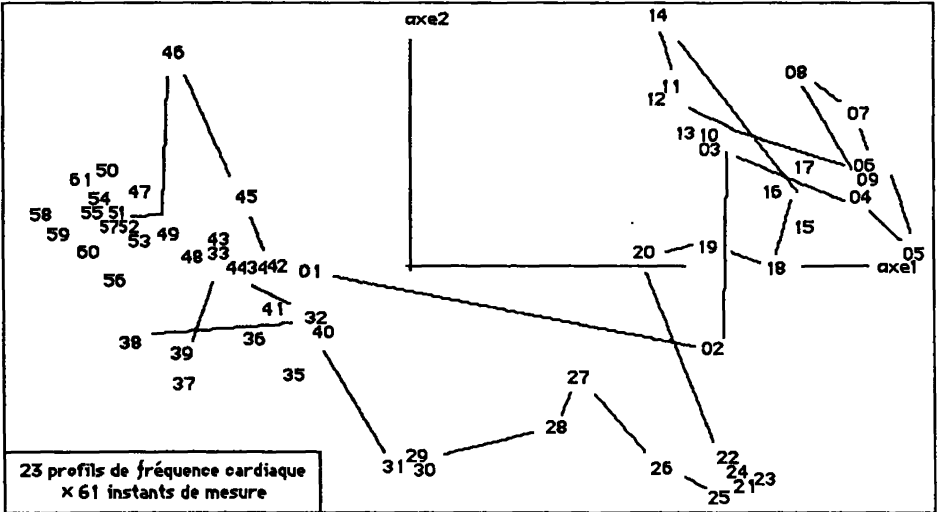
Bien que le profil *L1f* ne participe pas à l'analyse, les distances entre les 23 autres profils sont assez peu modifiées pour que subsistent les classes trouvées au §3.1. En particulier, la classe centrale du Fentanyl avec &3f.



c | CAH des 23 profils de fréquence (sans *L1f*) sur l'ensemble T des 61 instants de mesure

|       |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--|--|
| 29    | L2f | L4f |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 35    | &1f | &5f | L6f |     |     |     |     |       |  |  |
| ----- |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 19    | &2f |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| ----- |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 15    | M4f |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| ----- |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 37    | M2f | M5f | M1f |     |     |     |     |       |  |  |
| 34    | F1f | F5f | &3f | F6f | F4f | F3f | F2f | ≈ CdG |  |  |
| ----- |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 17    | M6f |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| ----- |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 36    | M3f | L3f |     |     |     |     |     |       |  |  |
| ----- |     |     |     |     |     |     |     |       |  |  |
| 32    | L5f | &4f | &6f |     |     |     |     |       |  |  |



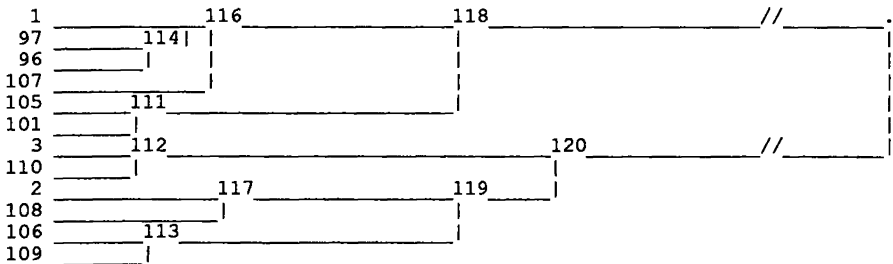


**3.2.3 Classification de T d'après sa correspondance avec 23 profils de fréquence cardiaque**

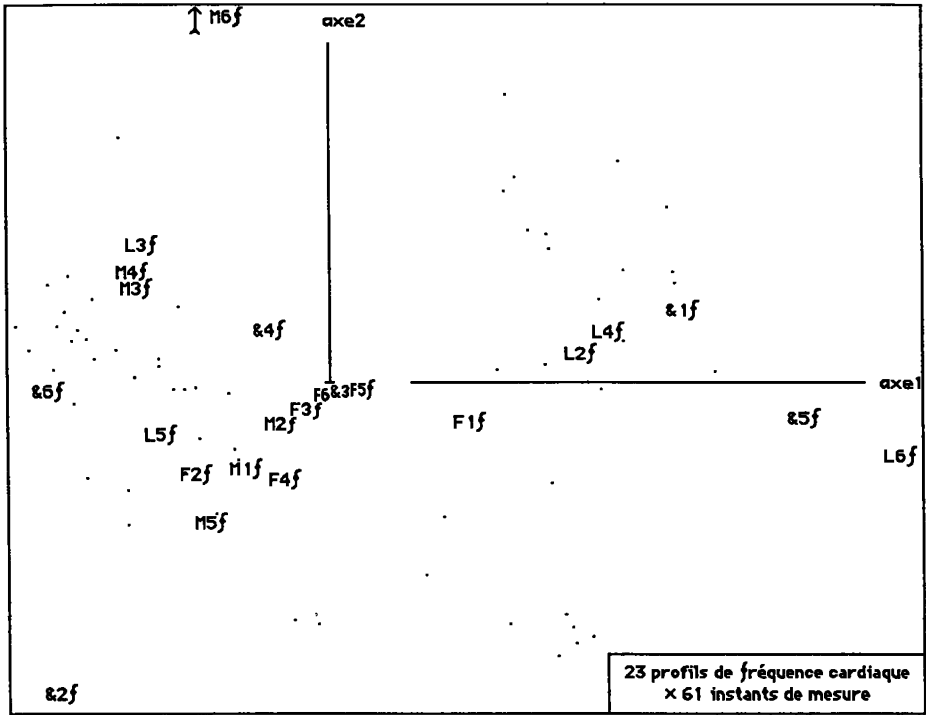
Dans la partition en 12 classes définie par les 11 nœuds les plus hauts, presque toutes les classes constituent des blocs d'instant consécutifs; mais les trois premiers instants constituent des classes isolées; et, dans 109, l'instant 09 est joint à la séquence 15...20.

Si l'on considère la partition en 9 classes, définie par les 8 nœuds les plus hauts, seuls 01 et 02 sont isolés; les 7 autres classes étant des sous-intervalles de l'ensemble T.

Au sommet de la hiérarchie, se séparent les deux branches 120 et 118: dans 120 sont les instants {2...28}, phase de la réaction initiale; dans 118, avec 01, les instants {29...61}; où l'on peut distinguer 116, 01 avec {29...45}, le retour à la normale; et 111, {46...61}, une dernière phase où la simple compensation est dépassée dans une hyperréaction.



CAH(T) : 23 profils de fréquence x 61 instants de mesure



La présence sur deux pages qui se font face des résultats de la CAH de T et du plan (1, 2), permet de vérifier leur accord quant au tempo des variations de la fréquence cardiaque des rats.

CAH(T) : 23 profils de fréquence x 61 instants de mesure

| c   | Partition en 12 classes : numéros des instants de la classe c |
|-----|---|
| 1   | 01  |
| 97  | 34 32 33  |
| 96  | 31 30 29  |
| 107 | 42 43 45 44 35 40 36 41 39 37 38                              |
| 105 | 46 48 49 51 47 50   |
| 101 | 54 55 56 58 52 53 57 61 59 60                                 |
| 3   | 03  |
| 110 | 04 05 08 07 06  |
| 2   | 02  |
| 108 | 22 21 28 27 26 25 24 23                                       |
| 106 | 10 11 12 13 14  |
| 109 | 18 19 20 09 16 15 17  |

#### 4 Conclusion

Une série temporelle de 61 points ne peut être considérée comme un ensemble ordinaire de 61 variables, puisqu'il existe un lien étroit entre celles-ci. Il est clair qu'il y a redondance d'information, ce qui explique que l'analyse des données ait pu synthétiser cette information en un nombre limité de facteurs: d'après lesquels on voit clairement l'opposition entre l'effort